

パスタの新たな品質評価手段の開発

(Development of new tools for quality evaluation of pasta)

入 江 謙 太 朗

日本獣医生命科学大学大学院獣医生命科学研究科

(指導教員：吉田 充)

平成 31 年 2 月

パスタの新たな品質評価手段の開発  
(Development of new tools for quality evaluation of pasta)

学位論文の内容の要旨

平成 31 年  
日本獣医生命科学大学大学院獣医生命科学研究科  
入江 謙太郎  
(指導教員：吉田 充)

# パスタの新たな品質評価手段の開発 (Development of new tools for quality evaluation of pasta)

入江 謙太郎

日本における代表的な調理済みスパゲティの水分分布を、核磁気共鳴イメージング (MRI) により測定した。水分量は、標準糊化試料の水のプロトンのスピン-スピン緩和時間 ( $T_2$ ) と水分量との相関性にもとづいて計算した。加熱調理後の乾燥スパゲティと冷凍スパゲティには、表面から中心部へ向かって水分勾配が存在し、中心部には明確な低水分領域が存在した。一方、ロングライフ (LL) スパゲティの水分量はほぼ均一であった。物性試験では、乾燥スパゲティと冷凍スパゲティの中心部の低水分部分に相当する領域において高い力が認められ、「アルデンテ」の状態を検出することができた。惣菜調理スパゲティと LL スパゲティは、中心部の水分の多さに起因して軟らかくて脆い物性であった。

普通形状のスパゲティと 2 種の早ゆでスパゲティ試料 (V 字型の溝が 1 本ついたものと風車型に 3 本の溝がついたもの) の水分分布と物性を比較した。早ゆでスパゲティのゆで後の総水分含量は、普通形状のスパゲティより低かった。MRI によるゆで過程中の  $T_2$  画像の変化から、早ゆでスパゲティでは、溝の先端周辺の領域が特に急速に吸水して膨潤して溝が閉じて外形が円くなることが示されたが、水分分布は同心円状にはならず、これを反映して物性曲線はせん断方向により変化した。なお、普通形状のスパゲティの表層の高水分領域は、物性曲線の形状には大きな影響を与えないことが示された。

以上より、水分分布のデータを物性試験のデータと関連づけることにより、パスタの食感を MRI により可視化して説明することが可能となった。

世界各国から乾燥ロングパスタ 112 試料を収集し、ゆで後の官能特性にしたがって 4 つのグループに分類した。各グループから、合計 50 試料を選抜し、高

度な経験を有し訓練されたパネルが官能評価を行って、官能特性を表現する用語出しを行った。出された用語を討議により整理統合し、35語（外観5語、香り／風味11語、食感19語）から構成される用語体系を得た。このうち26語を一般用語、9語を特殊用語と格付け、各用語に対して詳細な定義づけと具体的なリファレンス（参照見本）の設定を行った。また、代表試料8個についての一般用語を用いた試験的官能評価結果について主成分分析（PCA）を行い、物理化学的な分析値と関連づけて考察した結果、これらの描写用語は試料間の官能品質の差を的確に識別していることが示された。

Development of new tools for quality evaluation of pasta

Abstract of Doctoral Thesis

Kentaro Irie

Graduate School of Veterinary Medicine and Life Science

Nippon Veterinary and Life Science University

## Abstract of doctoral thesis

### Development of new tools for quality evaluation of pasta

Typical types of cooked spaghetti in Japan were examined for moisture distribution by magnetic resonance imaging (MRI). Moisture content was calculated based on the correlation between spin-spin relaxation time ( $T_2$ ) and moisture content of standard gel samples. Boiled samples of dried and frozen spaghetti had a moisture gradient from the surface to the core and a distinct low moisture region at the center. On the other hand, the moisture content of long-life spaghetti was almost homogeneous. In mechanical tests of dried and frozen spaghetti, higher force was observed at the region corresponding to the low moisture core, which means that the state known as “al dente” was detected. The luncheon spaghetti and long-life spaghetti exhibited soft and brittle texture caused by higher moisture content at the core.

Moisture distributions and mechanical properties of ordinary dried spaghetti were compared to those of two quick boil spaghetti samples (spaghetti with a V-shaped groove and spaghetti with three windmill-shaped grooves). The quick boil spaghetti samples had lower total moisture content than ordinary dried spaghetti after cooking. The  $T_2$  images of MRI during boiling showed that the region around the tips of their grooves absorbed water and swelled particularly rapidly resulting in closure of the grooves. Moisture distributions of the two quick boil spaghetti samples were not concentric. The force-strain curves of the two quick boil spaghetti samples, therefore, varied depending on the shearing direction. Thin high moisture region at the surface of boiled ordinary dried spaghetti did not have a large effect on the mechanical properties.

As mentioned above, visual evaluation of the textures of pasta using MRI was realized by correlating the data of the moisture distribution to those of the mechanical test.

One hundred twelve commercial dried long pasta collected from all over the world were classified into four groups according to similarities in their sensory characteristics after boiling. A total of fifty samples were selected from each group as representative samples, and they were evaluated sensorially by highly experienced and trained panels to generate expressions. As a result of the consolidation of them by the panel discussion, the final lexicon consisted of 35 terms (5 for appearance, 11 for aroma/flavor, and 19 for texture) were obtained. Twenty-six terms of them were classified as general descriptor, and 9 terms as specific descriptor. In addition, detailed definitions and concrete references were determined for each term. Principal component analysis (PCA) was

conducted for results obtained in a trial evaluation of eight representative samples using the general descriptors, and the data was reviewed correlating the physical and chemical analysis data to the sensory characteristics. As a result, all of the general descriptors were found to be appropriate to differentiate the sensory qualities among the samples.

パスタの新たな品質評価手段の開発  
(Development of new tools for quality evaluation of pasta)

学位論文の内容の要約

平成 31 年  
日本獣医生命科学大学大学院獣医生命科学研究科  
入江 謙太郎  
(指導教員：吉田 充)

# パスタの新たな品質評価手段の開発 (Development of new tools for quality evaluation of pasta)

入江 謙太郎

パスタはグローバルな食品であり、国際的な取引も活発に行われており、日本にも国産品が出回る中、イタリアをはじめ、トルコ、チュニジア、ギリシャ、アメリカなどの乾燥パスタ製品が大量に輸入されている。実際に販売されている製品の形態も、乾麺、生麺、冷凍麺、ゆで麺、早ゆで乾麺、惣菜調理麺（パスタ弁当）などさまざまであり、求められる品質も画一的ではなく食シーンや地域等により異なってきた。パスタ発祥のイタリアの製品の品質でさえスタンダードであるとは限らず、販売先となる国の品質ニーズにも細かく対応していく必要も生じてきている。こういった中では、パスタの品質をこれまで以上に的確にかつわかりやすく表現することが求められている。パスタは小麦粉二次加工品の中でもサイズが小さく、多くがゆでて食べられるために水分分布が不均一で変化しやすく、従来は物性や水分分布等の品質の解析が詳細にできなかったために、各製品やサンプルの特性を明確に説明することが困難であった。また、これまでパスタの品質を官能的に記述する用語体系も整備されていなかったため、パスタの生産・流通に携わる部署間、会社間、国家間等での品質に関する円滑なコミュニケーションを阻んでいた。

そこで本研究では、調理済みのスパゲティおよび早ゆでのスパゲティについて、MRIにより水分分布の分析を行うとともに、これを物性測定データと関連づけることにより、食感を可視化して評価する。また、パスタの官能評価用語の体系を開発し、各用語に定義づけを行うことによって、パスタの品質を具体的な言葉で詳細に評価できるようにすることを目的とした。

## 第1章 各種調理スパゲティの水分分布と物性

市場で一般的に販売されている、さまざまな種類の調理済みスパゲティ（生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティ、惣菜調理スパゲティ、ロングライフ（LL）スパゲティをゆでたり電子レンジやフライパンで加熱したもの）の水分分布を、核磁気共鳴イメージング（MRI）により測定した。水分量は、水のプロトンのスピン—スピン緩和時間（ $T_2$ ）から、粉砕したデュラムセモリナの標準糊化試料の  $T_2$  と水分量との相関性にもとづいて計算した。ゆでた乾燥スパゲティと冷凍スパゲティは、麺線表面から中心部へ向かって水分勾配が存在し、中心部には他の種類のゆでスパゲティには見られない、水分含量 40% 未満の明確な低水分領域が存在した。一方、LL スパゲティの水分量はほぼ均一であった。調理済みの各スパゲティの食感は、物性試験のカー変位曲線を用いて評価した。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティについては、他の種類のスパゲティと比較して、中心部の低水分部分に相当する領域において高い力が認められ、いわゆる「アルデンテ」の状態を検出することができた。惣菜調理スパゲティと LL スパゲティには、中心部の水分の多さに起因した軟らかくて脆い物性を示す、低い破断力と破断ピークのあとの大きな力の落ち込みが見られた。これらの結果により、MRI で観測した水分分布の画像は、スパゲティ麺線の物性、すなわち食感を反映し、調理スパゲティの品質の評価に有用であることが示された。

## 第2章 早ゆでスパゲティの水分分布と物性の解析

ゆで上がり時間が短いもののゆでた後に標準的な太さとなる早ゆでのスパゲティを、麺線に溝をつけることによって作出した。普通の 1.6 mm 径のスパゲティ（サンプル A、ゆで上がり時間 7 分）と早ゆでスパゲティのサンプル、すなわち V 字型の溝が 1 本ついたスパゲティ（サンプル B、ゆで上がり時間 4 分）、及び風車型に 3 本の溝がついたスパゲティ（サンプル C、ゆで上がり時間 3 分）とを比較した。ゆで後の水分含量は、サンプル A の 63 g/100 g に比べて、早ゆでスパゲティは 58-59 g/100 g とより低かった。ゆで過程中の  $T_2$  画像の変化から、早ゆでスパゲティでは、溝の先端周辺の領域が特に急速に吸水して膨潤した結果、溝が閉じて外形が普通のスパゲティのようになることが示された。ゆで上げ後のサンプル A の水分分布は同心円状となり麺線中心部の低水分領域の形が円形であったのに対し、サンプル B の水分分布は同心円状にはならず麺線中心部の低水分領域の形は U 字型であった。ゆで上げ後のサンプル C の水分分布はサンプル A の場合に近かったが、中心部に近い低水分の領域は三角形であった。ゆで後のサンプル B と C のせん断試験のカー歪み（変形）曲線は、同心円状でない水分分布を反映して、せん断する方向により変化した。なお、ゆでたサンプル A 表層の高水分領域は厚さがあまりないため、カー歪み（変形）曲線の形状には大きな影響を与えないことが示された。

### 第 3 章 乾燥ロングパスタの官能評価用語体系の構築

世界中でパスタは一般的で人気のある食品である。しかしながら、これまでにパスタの品質に関する詳細な官能特性や官能評価用語の体系は全く報告され

てこなかった。本研究では、世界各国から多数のロングパスタのサンプルを収集し、調理済みの乾燥ロングパスタの官能特性を描写するための用語体系の開発に取り組んだ。112 個の市販パスタサンプル、すなわち 100 %デュラムセモリナで作製した直径 1.6–2.2 mm の乾燥スパゲティおよび直径約 1.5 mm のスパゲティーニを入手し、ゆで後の官能特徴の類似性にしがって 4 つのグループに分類した。その各グループから、ゆでロングパスタの広い官能特性をカバーする代表サンプルとして、合計 50 サンプルを選抜した。高度な経験を有し訓練されたパネルが 50 個のゆでパスタサンプルの官能評価を行って、パスタを表現する用語出しを行った。出された用語はパネルの討議により整理統合し、最終的に 35 語（外観 5 語、香り／風味 11 語、食感 19 語）から構成される用語体系を得た。さらに、各用語に対して詳細な定義づけと具体的なリファレンス（参照事項）の設定を行った。各描写用語に対して、一般用語となるか特殊用語となるかの格付けは、官能評価による使用頻度とパネルの討議によって決定した。また、各グループから選抜したイタリア製の代表サンプル 8 個について、この用語体系のうち定量的な評価が可能な一般用語を用いて試験的に官能評価を行った。ここで得られたデータについて主成分分析（PCA）を行い、色調や蛋白質や灰分、水分含量、ゆで歩留りなどの物理的および化学的な分析値を官能特徴と関連づけて考察した。その結果、これらの描写用語はパスタサンプルの官能品質を的確に識別していることが示された。

以上より、MRI による水分分布分析データを物性試験のデータと関連づけることにより、調理済みの各種パスタや早ゆでパスタの食感を可視化して説明することが可能となり、従来の手法では顕在化していなかった特性を見出すこともできた。また、パスタの官能評価用語の体系を構築し、各用語の定義づけと

リファレンス設定を行い、これを実際のサンプル評価に用いた結果、的確にサンプル間の品質差を識別することができた。

本論文で得られた知見は、今後高品質なパスタ製品を開発するための有益な指針を与えるとともに、パスタ産業の発展に貢献するものと考えられる。

Development of new tools for quality evaluation of pasta

Summary of Doctoral Thesis

Kentaro Irie

Graduate School of Veterinary Medicine and Life Science

Nippon Veterinary and Life Science University

## Summary of doctoral thesis

### Development of new tools for quality evaluation of pasta

Pasta is a global food actively traded internationally. While domestic pasta products are commonly sold in Japan, large amount of dry pasta products are imported from Italy, Turkey, Tunisia, Greece, the United States etc. Pasta products are sold in various forms (dried, quick boil dried, fresh, frozen, boiled, luncheon type etc.) in Japan. Required quality of pasta depends on occasion and place where it is eaten. Regional difference in preference is also recognized. The quality of the Italian pasta products may not always be standard for Japanese consumers. It is, therefore, necessary to supply wide range of products with quality which meets the needs of the consumers in each region and country. In order to understand the preference of the consumers accurately, it is essential to have methods and indices to evaluate the quality of the pasta more precisely and clearly. The size of pasta is small as secondary processing food of wheat, and its moisture distribution is inhomogeneous and variable after boiling. This makes us difficult to analyze the mechanical properties and moisture distribution of cooked pasta for explanation of its characteristics and quality accurately. In addition, lexicons which describe the qualities of pasta sensorially have not been developed. This situation inhibits smooth communications about the qualities of pasta between sections within a company, between companies, and between countries.

In this study, the textures of various types of cooked spaghetti including quick boil spaghetti are evaluated by correlating the moisture distribution measured by MRI to the data of mechanical shearing test. A sensory lexicon for dried long pasta with the definition to each descriptor is developed in order to evaluate the quality of pasta in detail with concrete terms.

### Chapter 1: Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti

Five types of cooked spaghetti (boiled fresh spaghetti, boiled dried spaghetti, boiled frozen spaghetti, heated luncheon spaghetti, and heated long-life spaghetti) were selected for this research. They covers the typical types of cooked spaghetti products commonly sold in the Japanese market. They were examined for moisture distribution by magnetic resonance imaging (MRI). Moisture content was calculated from spin-spin relaxation time ( $T_2$ ) of water proton, based on the correlation between  $T_2$  and moisture content of pulverized durum semolina standard gel samples. Boiled samples of dried

and frozen spaghetti had a moisture gradient from the surface to the core, and a distinct low moisture region at the center, which were not clearly observed in the other types of cooked spaghetti samples. In particular, the moisture content of long-life spaghetti was almost homogeneous. Texture of cooked spaghetti samples was evaluated using force-distance curve of a mechanical shearing test. For dried and frozen spaghetti, higher force was observed at the region corresponding to the low moisture core compared with the other types, namely the state known as “al dente” was detected. The luncheon spaghetti and long-life spaghetti showed a lower breaking force and a larger dip after the peak force representing soft and brittle texture caused by moisture homogeneity. These results indicated that MRI could be used for the quality evaluation of cooked spaghetti through imaging of the moisture distribution, which reflects the mechanical properties.

## Chapter 2: Analysis of moisture distribution and texture of quick boil spaghetti

Lengthwise grooving was adopted to produce quick boil spaghetti with standard thicknesses after boiling. Ordinary dried spaghetti with a 1.6 mm diameter (Sample A, 7 min boiling time) was compared to quick boil spaghetti samples, namely spaghetti with a V-shaped groove (Sample B, 4 min boiling time) and spaghetti with three windmill-shaped grooves (Sample C, 3 min boiling time). The quick boil spaghetti samples had lower moisture content (58-59 g/100g) than Sample A (63 g/100g) after cooking. The  $T_2$  images of MRI during boiling showed that the region around the tips of their grooves absorbed water and swelled particularly rapidly resulting in closure of the grooves. While the region with low moisture content at the core of the strand after boiling was round in Sample A, those in Sample B and C were U-shaped and like a triangle, respectively. The shearing test force-strain curves of boiled Sample B and C varied depending on the shearing direction, which reflected their non-concentric moisture distributions. Thin high moisture region at the surface of boiled Sample A did not have a large effect on the mechanical properties.

## Chapter 3: Establishment of a sensory lexicon for dried long pasta

Pasta is a common and popular food all over the world. However, neither a detailed sensory profile nor sensory lexicon of pasta quality has been reported. In this study, a lexicon for describing the sensory attributes of cooked, dried long pasta was developed using a large sample set of pasta collected from the countries in the world. The target

dried pasta samples were spaghetti ( $\phi$ 1.6–2.2 mm) or spaghettini (around  $\phi$ 1.5 mm) made of 100% durum semolina. One hundred twelve commercial dried long pasta samples were boiled and then classified into four groups according to similarities in their sensory characteristics. Among them, 50 samples were selected as representative samples covering wide range of the sensory characteristics of boiled long pasta. A highly experienced and trained panel generated expressions following a sensory evaluation of the 50 boiled pasta samples. As a result of the consolidation of them by the panel discussion, the final lexicon consisted of 35 terms (5 for appearance, 11 for aroma/flavor, and 19 for texture) were obtained. Definitions and references were determined for each term. Each descriptor was ranked for general one or specific one, according to its frequency of use by the sensory evaluation and discussion. Eight samples made in Italy were selected from each group as representative samples and evaluated using the general descriptors of the lexicon which can be used for quantitative evaluation as a trial. Principal component analysis (PCA) was conducted for the results obtained in this evaluation, and the data was reviewed correlating the physical and chemical analysis data such as color, moisture, protein, ash contents, weight increase after being cooked, etc., to the sensory characteristics. The results showed that the descriptors were appropriate for differentiating the sensory qualities among the samples.

As mentioned above, visual evaluation of the textures of cooked spaghetti in various forms and cooked quick boil spaghetti was realized by correlating the moisture distribution shown in MRI to the data of the measurement of mechanical properties. By this method some characteristics that had not been detected by conventional techniques were found in this study. In addition, a sensory lexicon for dried long pasta was established, and each term of the lexicon were defined and referenced. All of the general descriptors of this lexicon were found to be appropriate to differentiate the sensory qualities among the samples by applying it to evaluation of representative samples.

The information obtained in this study will give a useful guidance to develop high quality pasta products in the future, and it will contribute to the development of the pasta industry.

## 目次

学位論文の内容の要旨

学位論文の内容の要約

緒論

1.	イタリアにおけるパスタの起源と歴史 .....	1
2.	日本におけるパスタのあゆみ .....	3
3.	パスタの原料 .....	6
4.	パスタの製法 .....	9
5.	パスタの種類 .....	12
6.	本研究の目的 .....	15
7.	本研究の構成 .....	16
	引用文献 .....	17
第1章 各種調理スパゲティの水分分布と物性		
1.	はじめに .....	18
2.	試料および方法	
2. 1	スパゲティ試料 .....	22
2. 2	MRI 測定 .....	23
2. 3	標準糊化試料の調製と、水分量と $T_2$ の測定 .....	24
2. 4	物性の測定 .....	24
2. 5	統計解析 .....	25
3.	結果と考察	
3. 1	調理スパゲティ試料の $T_2$ 画像 .....	27
3. 2	$T_2$ 画像から計算した水分分布 .....	29
3. 3	調理されたスパゲティ試料の物性 .....	35
4.	総括 .....	38
	引用文献 .....	39
第2章 早ゆでスパゲティの水分分布と物性の解析		
1.	はじめに .....	43
2.	試料および方法	
2. 1	スパゲティの試料 .....	46
2. 2	MRI 測定 .....	46
2. 3	$T_2$ 値を水分量に換算するための検量線 .....	47
2. 4	水分量の測定 .....	47
2. 5	物性の測定 .....	47
3.	結果および考察	
3. 1	各乾燥スパゲティの断面のゆで上がり時の形状と平均水分 .....	49
3. 2	スパゲティの試料の $T_2$ 画像と水分分布 .....	51

3. 3	ゆでたスパゲティ試料の物性 .....	56
3. 4	ゆでたスパゲティの試料の水分のヒストグラム .....	59
4.	総括 .....	61
	引用文献 .....	62
第3章	乾燥ロングパスタの官能評価用語体系の構築	
1.	はじめに .....	65
2.	試料および方法	
2. 1	パネリスト .....	67
2. 2	試料 .....	68
2. 3	用語体系の構築 .....	75
2. 4	用語体系の有用性確認のための官能評価の試行 .....	76
2. 5	統計解析 .....	76
3.	結果および考察	
3. 1	用語体系の構築 .....	76
3. 2	用語体系の有用性確認のための官能評価の試行 .....	98
4.	総括 .....	104
	引用文献 .....	105
結論	.....	110
謝辞	.....	115

## 緒論

### 1. イタリアにおけるパスタの起源と歴史

パスタはアジアから遠く離れたイタリアを起源とする食品である。パスタは日本では麺類の一つとされているが、アジアの麺とは全く別に生まれながら同じような進化を遂げてきたものである。古くから小麦粉は、水で練った生地を加工して食べられてきているが、小麦粉生地の食品としての利用技術の流れの一つは、エジプト、ギリシャなど地球の西側にパンの形で、もう一つの流れは、中国を中心とする地球の東側のアジアの地域に麺の形で、分かれて発展してきたと言われている。その中でも麺類の一種であるパスタだけが、なぜか西側ではイタリアという国にだけ存在している。しかもイタリアの周囲の国や、イタリアと極東アジアの途中に位置する国に麺がさかんに生産、消費されている国があまり見当たらない。遠く離れたイタリアと極東アジアが別々に麺文化を育んできたということは、我々地球の東側のアジアの人間から考えると非常に不思議なことである。

アジアにおける麺は、古代の中国における餅（ピン：小麦粉製品の総称）がルーツと言われている（岡田 1993；奥村 2009）。餅は、加熱の方法により、①湯餅（タンピン：麺條や水餃子のように茹でたもの）、②蒸餅（ツエピン：饅頭や包子のように蒸したもの）、③焼餅（サオピン：煎餅のように焼いたもの）、④油餅（ユウピン：春巻や油條のように油で揚げたもの）のように大別されて

いた。その後これらの小麦粉生地は火通りがよくなるように、また美味しく食べられるように工夫が加えられ、6世紀の前半から唐の時代（618-907年）には湯餅が細長い形となって茹でられ、現在の麺に近い形のものが登場していたとされている。日本の麺のはじまりは諸説あり、遣唐使が持ち帰った唐菓子（蒸したり揚げたりされていたもの）の生地がやがて茹でられるようになったものだとも、既に現在の麺のようにできあがったものが中国から持ち込まれたものだとも言われている。

一方、イタリアにおける古代のパスタは、現在のようなものであったわけではない。パスタのルーツを探ると、「小麦粉生地」と「穀物粥」という、2つのものが原型として挙げられる。

パスタの語源は、英語で言う、「paste」と同じと考えられており、いわゆる「練り物」に由来するものである。当初の「生地」は、小麦粉に水を加えて練り、現在のパスタのように捏ねられていた。「生地」は焼かれたり揚げられたりしてパンやドーナツのようにして食べられていた。一方の「穀物粥」は、穀物の粗挽きの粉を湯やスープの中に入れて、ゆでたりして食べるという形で存在していた。当時はまだ現在のパスタのように「生地」が直接ゆでられることがなかったと考えられている。

その後古代から中世にかけて1000年前後の、パスタに関する記録がない空白期間があり、10世紀前後にようやく「生地」がゆでられてスープの中に入れて食べられる、現在の「パスタ」と同様のものが記録に登場する。そして10世紀から12世紀頃には乾燥パスタや生パスタが産まれていたのではないかと見られている。

その後は当分の間、パスタは家内工業的に作られていたと見られるが、16世紀頃には産業的なパスタの製造が始まった。その一方で16世紀頃には、新大陸

からイタリアにトマトが導入され、それが 17 世紀頃にはパスタ料理に利用されて、その相性のよさにパスタの消費は飛躍的に増えたと言われている。18 世紀後半以降には産業革命により、蒸気や電力がパスタ製造に用いられるようになった。パスタの乾燥方法についても天日から人工的なものにシフトして、生産が天候などによる影響を受けにくくなり、生産設備が大型化して生産量が飛躍的に増加し、輸出も行われるようになった。遠く日本にもパスタが導入されるようになったのもこの流れを受けてのことである。

## 2. 日本におけるパスタのあゆみ

日本におけるパスタの始まりとしては主に 3 つのことが語られる。まず 1 つ目として、初めて日本にパスタが持ち込まれたのは、幕末の横浜の外国人居留地であるとされている。(シルヴァーノ・セルヴェンディら 2012；日清製粉グループ 公式サイト；塚本 2000) 2 つ目は、明治初頭に長崎でマカロニがフランス人宣教師により工場生産されたといわれてもいる(日本パスタ協会 公式サイト)。3 つ目は、明治後期から大正初期にかけて新潟県の石附製麺所で日本人により初めてパスタの製造がされたという記録である(塚本 2000)。いずれにしても第二次世界大戦以前には、日本においてパスタが現在ほど盛んに生産・消費されていたという記録はなく、一部のホテルや高級レストランでしか食べることができない、希少な食品であったとされている。本格的なパスタの発展は戦後であり、さらに飛躍的な発展はとりわけここ 30 年間くらいのことである。

戦後のパスタに関する大きな動向としては、1955 年に国内の大手メーカー 2 社がイタリアから最新鋭の全自動式パスタ製造機を輸入して本格的なパスタ生

産を開始したことが挙げられる（マ・マーマカロニ株式会社 1995）。この動向は戦後日本の食糧難を救う一助として、人造米を製造販売しようという事業構想が発端であった。優れた品質の人造米を世に出すために、歴史と伝統に基づいたイタリアのパスタ製造機に着目し、これを導入することが決まった。しかしながらその頃、既に市場の人造米のブームは終焉を迎えており、メーカーは人造米製造から派生して検討されたパスタの製造に力点を置くこととなった。当初このパスタ製造機の運転立ち上げには、特に乾燥条件の設定などに大きな苦勞を要することとなったが、運転開始約 2 ヶ月の後によりやく安定的に生産ができるようになった。業界ではこの 1955 年は日本における「パスタ元年」と言われている。翌 1956 年にはそれまでの国内のパスタメーカー各社と、上記の大手 2 メーカーとが大同団結することにより「全日本マカロニ協会」が発足した（マ・マーマカロニ株式会社 1995）。

その後はパスタメーカーにより日本の家庭料理にパスタメニューが定着するような懸命な活動がなされ、パスタの消費量も当初は低調であったが、少しずつ増えてきた。実際に食べられるメニューについても、戦後から 1970 年代くらいまでは、スパゲティのミートソースやナポリタンといったところが主流であったが、1980 年代にはイタリアンブームが到来し、カルボナーラ、ペペロンチーニといったメニューのほか、和風やたらこなどというメニュー・テイストも登場し、食べ方がますます多様化するとともに、消費者のパスタの喫食機会も飛躍的に増加してきた。しかし、ここ数年は横ばいで推移しており、現在は年間 28 万トン前後である (Table P-1)。これを日本人 1 人あたりに換算してみると、乾物換算で年間約 2 キロであり、1 カ月に平均 2 回程度パスタを食べていることになる。パスタは米（乾物換算で年間 60 キロ弱）やパン（小麦粉換算で年間約 14 キロ）、パスタ以外の麺（小麦粉換算で年間約 8 キロ）と比較してまだ消費の伸びしろがあるように見える。

Table P-1. パスタの国内生産量・輸入・輸出量等の推移（平成30年5月）

平成30年6月28日現在  
一般社団法人 日本パスタ協会

年次	国内生産量 トン				輸入量 トン				輸出量 トン		国内供給量		
	スパゲッティ	マカロニ	A 計	前年比 %	11・000 卵入り	19・093 スパゲッティ	19・094 マカロニ	B 計	前年比 %	C 計	前年比 %	D=A+B-C 計トン	前年比 %
H23	132,100	28,351	160,451	103.4	370	123,449	10,649	134,468	111.5	607	78.9	294,312	107.0
H24	119,367	28,599	147,966	92.2	411	130,768	11,156	142,335	105.9	598	98.5	289,703	98.4
H25	126,836	23,900	150,736	101.9	373	123,012	9,215	132,600	93.2	573	95.8	282,763	97.6
H26	128,829	25,938	154,767	102.7	326	122,398	10,291	133,015	100.3	570	99.5	287,212	101.6
H27	119,441	25,290	144,731	93.5	330	120,635	11,022	131,987	99.2	553	97.0	276,165	96.2
H28	108,874	24,949	133,823	92.5	306	133,186	11,529	145,021	109.9	549	99.3	278,295	100.8
H29	108,487	25,960	134,447	100.5	328	138,037	11,324	149,689	103.2	532	96.9	283,603	101.9

注1. 輸出・輸入関係は財務省貿易統計資料による。

注2. 輸入はラビオリ等の加工食品を除く。

注3. 四捨五入の関係で計と内訳が一致しない場合がある。

### 3. パスタの原料

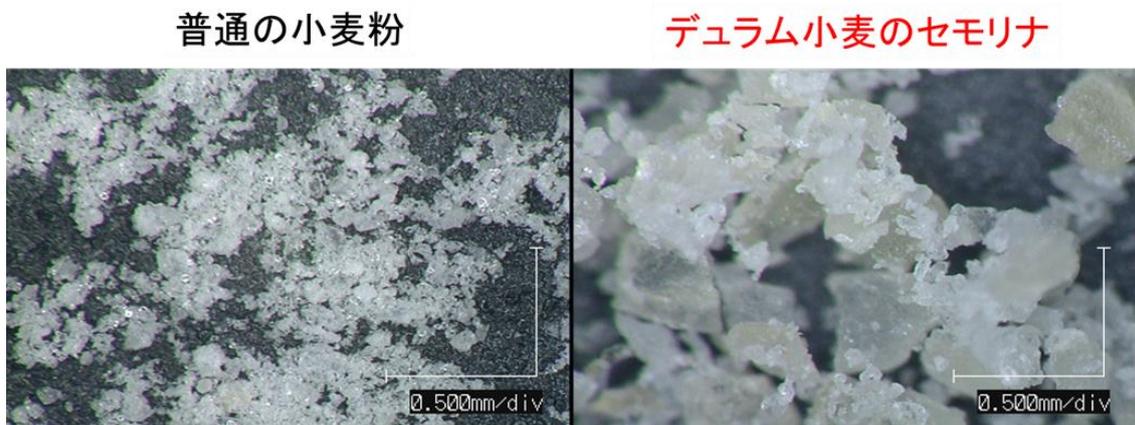
乾燥パスタは「デュラム小麦のセモリナ」と呼ばれる黄色みの強い硬質小麦の粗挽き粉 (Fig. P-1) を原料として製造される。デュラム小麦の「デュラム」の語源は、ラテン語の **Dur** (硬い) という言葉から出たものであり、小麦粒が非常に硬いために名づけられたものである。デュラム小麦の代表的な用途がパスタの原料であることから別名「マカロニ小麦」とも呼ばれている。粒は一般の小麦よりもやや細長く、色は琥珀色を呈している。世界全体の年間収穫量は約 4000 万トンであり、うち約 1000 万トンがパスタの原料となっている。また、デュラム小麦は普通小麦とは遺伝的にも異なり、普通系の小麦が 6 組のゲノムを持つ 6 倍体であるのに対し、デュラム小麦は 4 倍体二粒系の小麦である。このデュラム小麦は一般の小麦と比べてカロチノイド系色素が 2 倍以上もあるため、黄色みが非常に強い (Fig. P-1 上段)。また、粒が硬いがゆえに、ほとんどの場合製粉時も無理に細かく挽くことはなく、粗挽き (セモリナ) とする。一般の小麦粉が平均数十ミクロン級の粒度であるのに対し、デュラム小麦のセモリナは平均数百ミクロン級の粒度 (Fig. P-1 下段) となっている。この粒度の大きさが、パスタにうどんなどにはないしっかりとした歯応えを与える一因となっている。

パスタの大規模生産が開始された 1955 年当時は、国内にデュラム小麦用のミル (工場) がなく、またデュラム小麦も高価で輸入できなかったため、強力小麦粉でパスタを製造していた (マ・マーマカロニ株式会社 1995)。強力小麦粉のパスタはデュラム小麦のセモリナを使用したものに比べてゆでる際の溶け出しや煮崩れが多く、食感も軟らかいものであった。そこで、プレス押し出し後に 3-4 日間ゆっくりと熟成させながら乾燥させたり、活性グルテンや乾燥卵白を

加えたりすることにより、硬い食感を出す工夫をしていた。

その後の日本の経済成長により、1965年に日本で第一号のデュラム小麦用のミルが完成し、日本の乾燥パスタにもデュラム小麦のセモリナが配合されることとなった。しかし、デュラム小麦を主原料としたパスタが当時の日本の消費者にとっては硬すぎたということもあり、その後約20年の間はその配合率は30-50%にとどまっていた。

イタリアからの輸入パスタのシェアが高まるに伴って、消費者の認識もデュラム100%の硬い食感こそ本当のパスタの食感であるというようにならってきた。また、急速に円高が進み、輸入小麦の価格も安くなってきたことを受け、1986年には国内で生産される家庭用パスタ製品も基本的にデュラム100%とされるようになった。



**Fig. P-1.** Appearance (upper) and micrograph (lower) of wheat flour (left) and durum semolina (right).

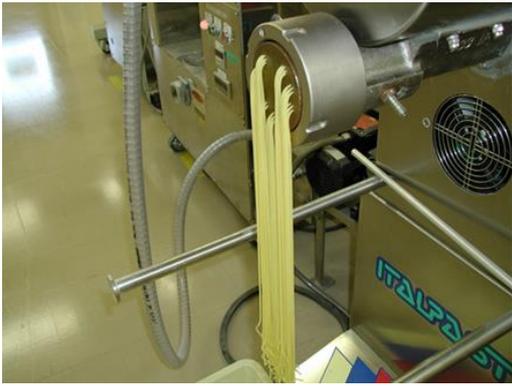
#### 4. パスタの製法

乾燥パスタは「デュラム小麦のセモリナ」に加水をして高圧下で押し出し (Fig. P-2 上段)、湿度を調節しながら高温で乾燥する (Fig. P-2 下段) ことによって製造される。乾燥工程については、水分量を低減させることによる保存性の向上のほかに、食感や風味、色調の調整も重要な目的として挙げられる。

パスタの乾燥は、一般の麺類に比べるとハードでコンパクトな麺体を、水分の蒸発と内部拡散を交互に繰り返しながら、押し出し当初に 30%前後であった麺体水分を最終的に 12.5%前後にまで下げるというプロセスである。1955 年に日本の大手メーカー2 社が大型パスタ製造機を導入した当初の乾燥は、スパゲティで 40-50°C前後で 18-30 時間近くかけて行う「普通乾燥」というものであった。これは長いパスタ製造の歴史の中で、その昔天日乾燥であったものが、機械装置の進歩によりバッチ式システムに移行し、さらに連続式システムに変わってから確立されたものである。この「普通乾燥」は、かつてバッチ式製法が乾燥時間に 3-4 日を要していたことに比べると、大幅に時間短縮が実現された点で大変な進歩であった。日本では大型製造機導入後 20 年余の間この乾燥が主流のものとなっていた。

その後この「普通乾燥」よりもさらに乾燥時間を短縮する目的で 1970 年に「高温乾燥」がイタリアのブライバンティ社により開発された。この乾燥は一般的には最高温度が 70-75°Cで乾燥時間がスパゲティで 10-15 時間というものである。この乾燥条件で作られたパスタは、原料のセモリナや小麦粉の品質に多少のバラつきがあっても、高温による蛋白質の変性により、ゆで時の溶け出しや麺質の軟化に対する耐性を均一に保てるという副次的なメリットも生じた。また適度なロースト（焙煎）香も付与された。以後、「普通乾燥」の設備も逐次「高温乾燥」のものに切り替わっていくこととなった。

パスタの世界的な普及と需給増に伴い、生産能力の大きな製造機が必要となってきたことがきっかけで、プレス（押し出し）能力の大型化に同調させて乾燥機も効率化する必要が生じ、1980年代半ばに「高温乾燥」よりもさらに効率の高い「超高温乾燥」が開発された。この乾燥は最高温度が80-95℃前後にまで高められ、6時間程度でスパゲティの乾燥が終了するというものである。この乾燥により、従来どおりのスペースで1時間当たり2-3トン（当時）の生産能力が達成された。この「超高温乾燥」の製造機械は、1990年代から日本にも次々と導入されることとなった。これ以降、パスタの製造は、生産設備が大型化して製造効率が向上し、乾燥が高温化して、食感がハード化しロースト香のある製品が主流となってきた（マ・マーマカロニ株式会社 1995）。



**Fig. P-2.** Extruding process (upper) and drying process of pasta (lower).

## 5. パスタの種類

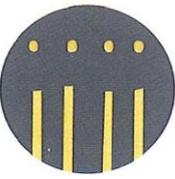
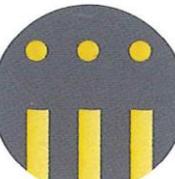
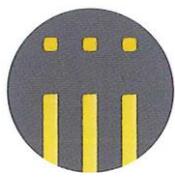
パスタの種類は現存しているだけでも 500 種類以上あると言われている（塚本 2000）。パスタは単純な形状だけでなく、食べ方や使い勝手のよさ、見た目の面白さなどのニーズに応じて種類を増やしてきている。パスタは形状により、棒状で長さが 25 cm 前後のロングパスタと、短くカットされたショートパスタに大別される。ロングパスタの代表的なものとしては、断面が丸いもので直径が細いものからカッペリーニ（直径 0.9 mm 前後）、フェデリーニ（直径 1.4 mm 前後）、スパゲッティーニ（直径 1.6 mm 前後）、スパゲッティ（直径 1.9 mm 前後）、ヴェルミチェッリ（直径 2.1 mm 前後）があり、断面が正円ではないものとしては、中心に穴のあるブカティーニ、幅が 5-10 mm 前後の平麺形状のフェットチーネ、断面が楕円形のリングイーネ、断面が四角いキタツラ（Fig. P-3. ①-⑨）などがある（仲西 2018）。なお、これらはイタリアにおける太さの目安であり、厳密な規格ではない。また日本農林規格（JAS 規格）では、1.2 mm 以上の太さの棒状又は 2.5 mm 未満の太さの管状に成形したものをスパゲッティと呼んでいる。本研究の第 1 章、第 2 章では、日本で多く流通している直径 1.7 mm および 1.6 mm のロングパスタを研究対象としているが、これらについては日本における呼び名にしたがってスパゲティと称することとする。

ショートパスタの代表的な形状としては、細い筒型のマカロニ、らせん状に成型したフィジリ、ペン先の形に似たペンネ、貝殻型のコンキリエ、蝶型のファルファッレ、耳たぶ型のオレキエッテ、太い筒型のパッケリ（Fig. P-3. ⑩-⑯）などがある（仲西 2018）。

日本ではショートパスタ（マカロニ等）とロングパスタ（スパゲティ等）の消費比率が 1 : 9 であり、圧倒的にロングパスタが多い。本場イタリアでは 6、7

割がショートパスタであると言われており、日本とは大きく異なる。(日清製粉グループ 公式サイト)。日本でロングパスタが多く食べられている要因としては、麺類好きの国民性から日本人はパスタを「麺類」の一つとして求めていること、マカロニは粉っぽく仕上がりやすくモチモチ感を求める日本人の志向に合致しにくいこと、フォークでなく箸で食べる文化であること、などが挙げられるが、ショートパスタの用途が日本ではグラタンやマカロニサラダ以外に有力なメニューがないのも、なかなか消費が広がらない理由であると考えられている。

この研究では、日本でのパスタの消費の大部分を占めるスパゲティを中心としたロングパスタを研究対象として取り上げることにした。

①カッペリーニ	②フェデリーニ	③スパゲッティーニ	④スパゲッティ
			
⑤ヴェルミチェッリ	⑥ブカティーニ	⑦フェットチーネ	⑧リングイーネ
			
⑨カタッラ	⑩マカロニ	⑪フィジリ	⑫ペンネ
			
⑬コンキリエ	⑭ファルファッレ	⑮オレキエッテ	⑯パッケリ
			

**Fig. P-3.** Shapes of the representative pasta.

日清フーズ株式会社 プロのための業務用食品サイト より

## 6. 本研究の目的

このように日本ではスパゲティをはじめとするロングパスタを中心に、確実にパスタの産業や文化が発展を遂げてきている。今や本場イタリアを超越しよう、日本独自のパスタの料理の進化も見られつつある。この中で消費者の見る目も肥えてニーズも多様化し、高度化し、複雑化している。こういった中では、パスタの品質をこれまで以上に的確にかつわかりやすく表現することが求められている。パスタは小麦粉二次加工品の中でもサイズが小さく、多くがゆでて食べられるために水分分布が不均一で変化しやすく、従来は物性や水分分布等の品質の解析が詳細にできなかつたために、各製品や試料の特性を明確に説明することが困難であった。また、これまでパスタの品質を官能的に記述する用語体系も整備されていながつたため、パスタの生産・流通に携わる部署間、会社間、国家間等での品質に関する円滑なコミュニケーションを阻んでいた。

本研究の目的は、ますます多様化・高度化・複雑化する、今後のパスタ製品の開発ニーズに応えるために、パスタの品質の分析評価方法を発展させて、より詳細に、かつわかりやすく、評価できるようにすることである。パスタの品質の評価方法の一つは物理化学的分析によるもの、もう一つは官能評価によるものであり、本研究ではこれら両方のレベルアップを目的とし、製品開発などの事業活動に利用可能なものの開発を目指した。

まず物理化学的分析として、MRIを導入してパスタ内部の水分分布を2次元的に可視化し、物性との関連づけを行った。

一方で、物理化学的分析、機器による品質の評価には、パスタの品質の全てをカバーしきれない、人間が感じる感覚を表現しきれない、微妙な品質差を識別しきれない、などといった限界がある。したがって、最終的にはどうしても官能評価に頼る必要がある。しかしながら従来のパスタの官能評価においては、

使用する用語に曖昧な点が非常に多いという課題があった。そこで官能評価をより客観的に実施できるように、評価用語体系の整備に取り組むことにした。特に、パスタや麺のような食感が重視されるにもかかわらず、その経時変化が速い食品の官能評価用語体系の整備は、非常に困難なものであり、世界でも前例が見られなかった。そのため、他の食品に比べてパスタの官能評価は、技術的に遅れを取っていた。本研究はこの仕事にあえて挑戦して、パスタの官能評価の方法を他の食品並みに進歩させようとするものである。

本研究により得られた知見は、新しいパスタ製品の開発や普及等に活用し得るものである。

## 7. 本論文の構成

第1章では、日本で販売されている各種形態の調理スパゲティ製品について、MRIにより水分分布の違いをビジュアルに解析し、これを物性測定データと関係づけて品質に関する考察を行う。

第2章では、麺線に沿って溝をつけた、2種の異なる早ゆでスパゲティについて、ゆで工程における水分分布の変化をMRIにより解析し、得られたデータからせん断方向を変えて物性測定を行い、通常の丸型のスパゲティとの品質の比較を行う。

第3章では、従来曖昧であった、パスタの官能評価に使用される用語について、表現の抽出、用語の選定、各用語の定義づけとリファレンス（参照見本）の設定をすることにより、より明確な官能評価を行えるように整備・体系化を行う。

## 引用文献

岡田哲 (1993). コムギ粉の食文化史. 朝倉書店. 東京.

奥村彪生 (2009). 日本めん食文化の 1300 年. 農山漁村文化協会. 東京.

シルヴァーノ・セルヴェンディ, フランソワーズ・サバン, (監修 飯塚茂雄, 小矢島聡: 訳 清水由貴子). (2012). パスタの歴史, 原書房, 東京.

塚本守 (2000). パスタ入門. 日本食糧新聞社. 東京.

仲西由美子 (2018). 学位論文. パスタとパスタソースの調和性に関する科学的  
研究. お茶の水女子大学.

日清製粉グループ 公式サイト

[https://www.nisshin.com/entertainment/encyclopedia/pasta\\_04.html](https://www.nisshin.com/entertainment/encyclopedia/pasta_04.html) (2018.07.08)

日本パスタ協会 公式サイト パスタのレシピ情報満載!

<https://www.pasta.or.jp/> (2018.07.08)

日清フーズ株式会社 プロのための業務用食品サイト

<http://www.nisshin-foods.co.jp/gyoumuyou/> (2018.07.08)

マ・マーマカロニ株式会社 (1995). マ・マーマカロニこの 10 年の歩み, マ・マ  
ーマカロニ株式会社, 東京.

## 第1章 各種調理スパゲティの水分分布と物性

### 1. はじめに

スパゲティはイタリアを起源とするものであるが、日本でも人気のある食品である。乾燥パスタ (Fig. 1-1B) を購入してゆでてパスタソースなどで味付けして食べるのが最も一般的で、スーパーマーケットでも輸入品を含め各社の商品が売られている。乾燥パスタは、常温で1年以上保存できるという利点がある。

生パスタ (Fig. 1-1A) は製麺されたあとで乾燥せずにゆでて食べるものである。生パスタは乾燥パスタに比べてゆでる前の麺中心部の水分量が多いため、ゆで上げ後にモチモチとした食感となるが、これが日本人の嗜好にマッチし、2000年代以降ちょっとしたブームにもなっている。生パスタは日持ちしないので、製麺後すぐに調理されてレストランなどで提供されることが多いが、最近では酸素除去剤を入れた包装でスーパーマーケットの店頭にも並ぶことが多くなっている。

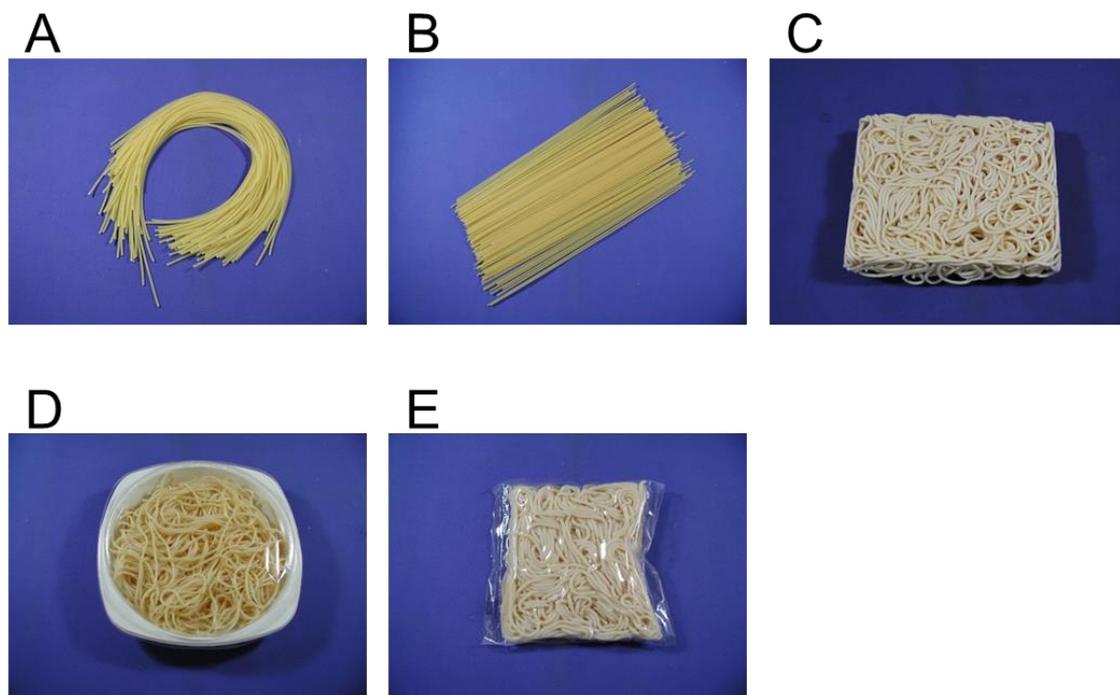
乾燥パスタとその原料である生パスタの他に、現在、我が国ではゆで加工を行ったスパゲティも多く販売されている。その一つである1987年に発売が開始された冷凍スパゲティ (Fig. 1-1C) は、食べごろよりも少し手前の状態までゆでた麺を水冷し、急速凍結して製造されたもので、それ以前からうどんやそば、ラーメン等で行われていた冷凍麺の製造方法をスパゲティに応用したものである。冷凍スパゲティは適切に解凍調理されれば、手早くゆでたての食感が実現できるということで、業務用として主にファーストフード店やファミリーレストランなどの外食産業において使用され始め、その品質のよさが認められ、市場に完全に定着することとなった。その後凍結した麺にソースを乗せて家庭用としても売り出されるようになった。ソースとパスタを別々に用意することな

く電子レンジで作り立ての本格的なパスタメニューが楽しめるということがヒットし、今では冷凍食品の 1 ジャンルをなすほどにまでにその販売量は伸長してきている。

惣菜調理スパゲティ (Fig. 1-1D) は、ゆでたスパゲティを冷却し、容器に盛り付けられてチルド温度帯等で流通され、スーパーマーケットやコンビニエンスストア等で売られているものである。電子レンジにより短時間の加熱で手軽に食べられ、調理済みのスパゲティとしては最も身近なものである。

ロングライフ (ゆで) スパゲティ (Fig. 1-1E) はゆでたスパゲティを滅菌処理したのち袋に密封してさらに加熱殺菌されたものであり、1960 年代に発売された。これは数ヶ月以上の長期保管が可能で、フライパンなどで加熱したあとで添付したソースとあえてごく簡単に食べられる商品である。

このほかにもお湯を注ぐだけで可食状態に戻せる即席タイプのスパゲティが存在する。これは即席麺の製法に則り、ゆで、あるいは蒸しを受けて $\alpha$ 化されたスパゲティを油揚げ (フライ) あるいは熱風で乾燥して製造されるものである。これは湯戻しの時間がかかる上に本格的なスパゲティの食感を得るにはかなり厳密にその時間を守る必要があるという品質的な問題があるためか、これまでいくつかのメーカーが商品化してきたが売れ行きは伸びて来ていない。現在のところ市場への定着度は低く、本研究の検討対象にも含めていない。



**Fig. 1-1.** Uncooked spaghetti samples: fresh (A), dried (B), frozen (C), luncheon (D), and LL spaghetti (E).

消費者に好まれるパスタの品質についての知見を得ることは新しいタイプのスパゲティを開発するのに必要である。パスタの品質に関しては、味や香りに比べて物性が特に嗜好性に大きな影響を与えるので重要視されている。麺やパスタの物性を決定する重要な要因は、澱粉-蛋白質のネットワークとその中に含まれる水分の分布である。水分の重要性は、麺やパスタ関連の企業の専門家の間では常識とされてきた。しかしながら、これまでパスタや麺の中の水分分布を定量的に評価することによって、この品質に関わる重要な要因を科学的に検証する報告は少なかった (Duce と Hall 1995; Gonzalez ら 2000; Kojima ら 2001; McCarthy ら 2002)。その理由は、一つは水分分布を高解像度で観測する手法がなかったからであり、もう一つは麺やパスタの水分分布が乾燥や浸透により急速に変化してしまうことが定量化を困難にしていたからである。

スパゲティの食感は物性試験機により測定することができる。これまでパスタの食感の評価に対しては沢山の機械測定が報告されてきた (Matsuo と Irvine 1969, 1971; Walsh 1971; Matsuo ら 1972; Voisey と Larmond 1973; Dexter ら 1983a, 1983b, 1985; D'Egidio ら 1993; Edwards ら 1993, 1995; Malcolmson ら 1993; Guan と Seib 1994; Kovacs ら 1995; Smewing 1997; Gonzalez ら 2000)。しかしながら、Dexter ら (1978, 1979) と Gonzalez ら (2000) の論文のように構造と物性との関係を論じた報告はわずかである。

この研究では、まず日本で消費されている代表的な種類の調理スパゲティを網羅したものとして、5種類のスパゲティ、すなわち、生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティ、惣菜調理スパゲティ、ロングライフ (LL) スパゲティ (Fig. 1-1A-E) を加熱したものを測定対象として選定し、その断面の水分分布を磁気共鳴イメージング (MRI) により分析した。MRI は時間のかかる特別な前処理を必要としない非破壊的な手法であり、迅速な測定を可能とするものである。麺やスパゲティの場合、澱粉やグルテンなど蛋白質の分子は固体で運動

性が低いので、核磁気共鳴 (NMR) シグナルのスピン-スピン緩和時間 ( $T_2$ ) の値が非常に短く、シグナルの線幅も広く、通常の MRI 測定では検出できない。よって、ゆでた麺やスパゲティ試料の MRI で検出されるのは、水のプロトンのシグナルである。そして、水分が多い部分では、概して水の運動性が高く、水プロトンの  $T_2$  値は長くなるので、麺やスパゲティの試料の  $T_2$  画像は、麺線中における水分分布を反映する (Kojima ら 2001)。したがって MRI を利用すれば水分量と密接な関連がある水分子の運動性に関する情報を利用して、水分分布を 2 次元、3 次元画像として示すことができる。MRI はパスタの乾燥工程 (Hills ら 1997) や、パスタの水和工程 (Hills ら 1996) についての研究においても利用されている。本研究では、MRI から得られた水分分布と物性分析のデータを比較して、水分分布と物性との関係を考察した。

## 2. 試料および方法

### 2. 1 スパゲティ試料

生スパゲティはデュラムセモリナに 27% 重量の加水をして混練し、高圧 (9.8 MPa) で押し出すことにより調製した。乾燥スパゲティ (1.7 mm 径) は生スパゲティを最高温度 74°C で 12 時間乾燥することにより調製した。冷凍スパゲティは乾燥スパゲティを 7.5 分ゆで、直ちに -40°C で凍らせて調製した。惣菜調理スパゲティは乾燥スパゲティをゆでて 5°C の冷蔵庫で 24 時間保管することにより調製した。LL スパゲティはゆでた乾燥スパゲティをプラスチック製の包材に入れて 95°C で 30 分間殺菌し、その後冷却して 5°C で 7 日間保管して準備した。

上記の各スパゲティ試料は、日清製粉グループから市販されている商品用と同じ条件で調製されたものであり、各商品の推奨調理条件で加熱して MRI と物性試験のための試料とした。生スパゲティは 6 分ゆで、乾燥スパゲティは 9 分

ゆで、冷凍スパゲティは1分ゆで、惣菜調理スパゲティは1500Wの業務用電子レンジで40秒加熱し、LLスパゲティはフライパンで1分加熱した。(本論文では、調理スパゲティの試料はそれぞれ生、乾燥、冷凍、惣菜調理、LLスパゲティと称する。)推奨調理条件については、生スパゲティと乾燥スパゲティは一定のかたさ(後述する物性曲線の破断点が0.15 kgf付近となるような食感 Fig. 1-6A)となるように、冷凍スパゲティ、惣菜調理スパゲティ、LLスパゲティは品温が80°Cを超えるように決定した。調理後のスパゲティ試料は直ちに1本ずつ分け取ることによって余熱を除き、さらに測定までの間ラップで覆うことによって試料の乾燥や蒸れを防止し、測定までの水分分布や物性の変化を最小限にした。

## 2. 2 MRI 測定

MRI測定には、農研機構食品研究部門所有の7.1テスラ(プロトンの共鳴周波数300MHz)の磁石にマイクロイメージング用の付属装置を装着したワイドボア型NMR装置(DRX300WB、Bruker、Karlsruhe、ドイツ)を使用した。NMRのデータの取得とその処理にはParaVisionとXwin-NMRプログラム(Bruker社)を用いた。2本のスパゲティ麺線を1cm長に切り、アクリルプレートに乗せたのち乾燥を防ぐためにポリエチレンのフィルムで覆った。スパゲティを乗せたプレートを外径10mmのNMR用のチューブに入れ、これをバードケージ型の内径10mmのラジオ波送受信コイルに挿入し、マルチスライスマルチエコー法(MSME)パルスプログラムで22±1°CでMRI測定を行った。繰り返し時間を2秒、エコー時間を4.5 msecとし、4.5 msec間隔で32のエコーの測定を行った。視野は10×5 mm<sup>2</sup>、マトリックスサイズは128×64、スライスの厚みは1 mmとした。その結果、1画素(voxel)のサイズは78×78×1000 μm<sup>3</sup>となり、総スキャン時間は2分17秒となった。スピンスピン緩和時間(T<sub>2</sub>)画像はFITパッケージ(Bruker社)により、32エコーの連続画像から計算したT<sub>2</sub>値に基づいて

構築した。なお、各画素の  $T_2$  値は、次式により算出した。

$$M = M_0 \exp(-t/T_2)$$

ここで  $M$  はエコー時間  $t$  におけるシグナル強度、 $M_0$  はエコー時間 0 におけるシグナル強度、 $T_2$  はスピンスピン緩和時間である。なお、 $T_2$  の算出に際して、NMR のシグナルの減衰が指数関数曲線によく合致することを確認した。測定はスパゲティ試料 1 本につき 3 ヶ所 (3 スライス) において行い、そのうち平均的な 1 つのスライスのデータを代表データとして採用した。

### 2. 3 標準糊化試料の調製と、水分量と $T_2$ の測定

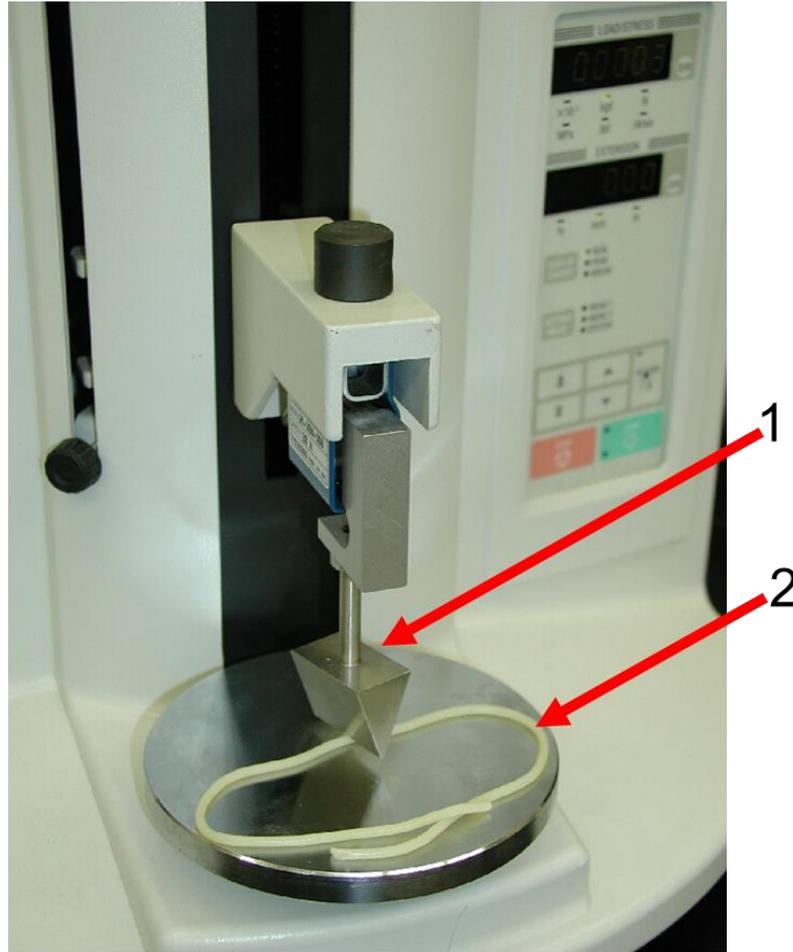
標準糊化試料は、粉碎した乾燥スパゲティ、粉碎したデュラムセモリナ、あるいはデュラムセモリナを使用して調製した。試料を異なる比率で蒸留水と混合し、プラスチック製の袋に封入し、沸騰水の中で 10 分間加熱した。このようにして調製した糊化試料はガラスチューブ (外径 5 mm、長さ 3 cm) に入れ、両端をフィルム (Sealon Film、富士写真フィルム、東京、日本) でシールした。このガラスチューブを NMR チューブ (外径 10 mm) に入れ、ゴム製のスペーサーを用いて固定した。各糊化試料の  $T_2$  値はスパゲティ試料と同じく、MRI により測定した。また、水分量は試料を乾燥器中で 135°C で 2 時間乾燥した後の重量の減少分を測定することにより決定した (Koizumi ら 1979)。

### 2. 4 物性の測定

Fig. 1-2 に示すように材料試験機 (EZ テスト、島津製作所、京都、日本) を用いて、スパゲティの麺線の試料を楔型の治具によりせん断した際の治具の位置とその時の荷重を同時に測定した。治具の下降速度は 0.5 mm/秒とし、全ての試験は室温 (25°C) で行った。5 本のスパゲティの測定データのうち、破断点の力の値が中央値となる試料の曲線を代表データとして示した。

## 2. 5 統計解析

調理スパゲティ試料の水分分布の計算に使用する検量線を得るために、標準糊化試料の水分量と  $T_2$  値を使用して回帰直線を作成した。エクセル 2002 (Microsoft 社、Redmond、ワシントン州) を用いて、単一回帰直線モデル (Zar 1999) の切片と傾きを検定し、検量線の予測値に対する 95% の信頼区間を算出した。

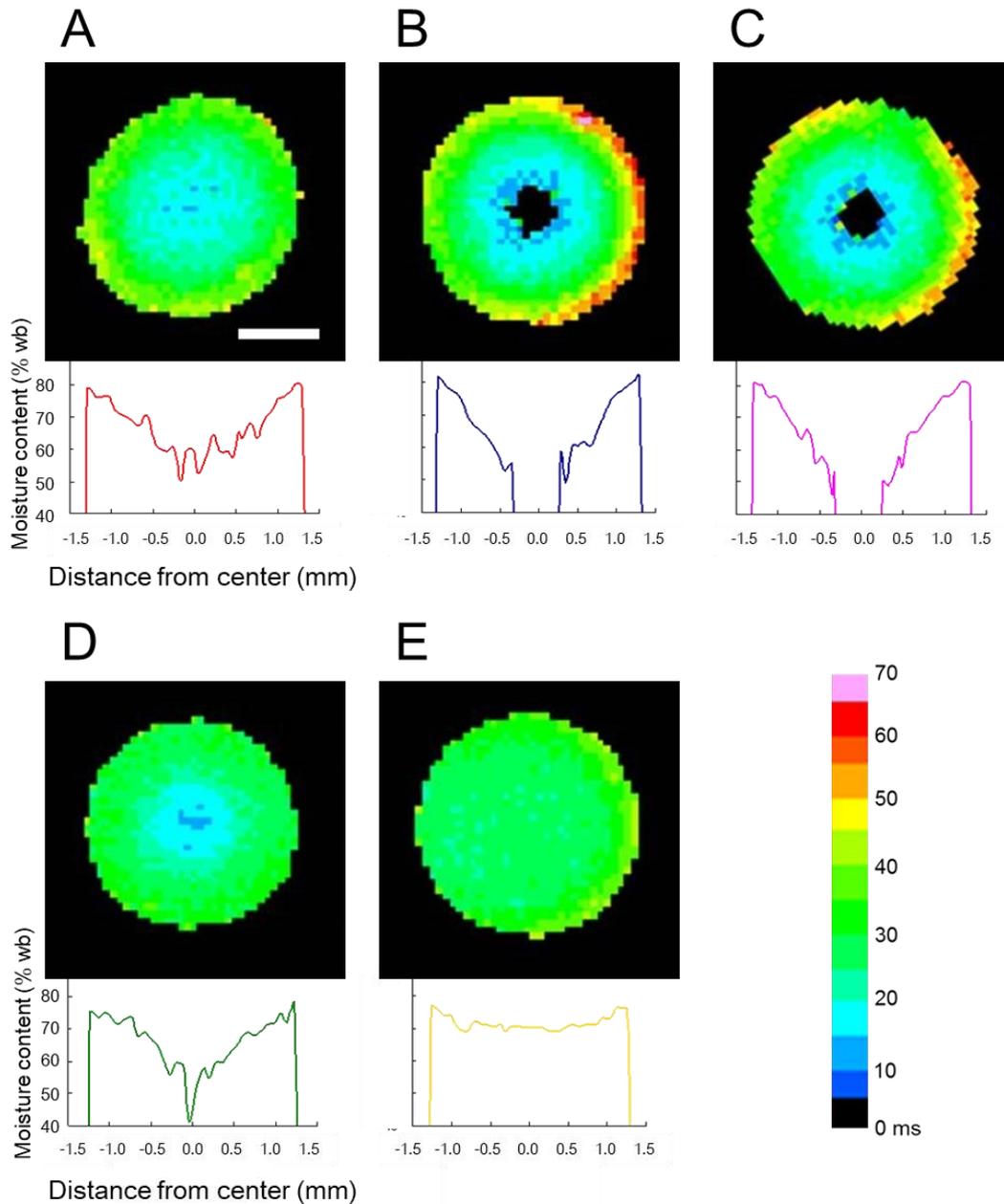


**Fig. 1-2.** Material tester with spaghetti sample: wedge-shaped jig (1) and spaghetti sample (2).

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 調理スパゲティ試料の $T_2$ 画像

各画素におけるプロトンの平均の  $T_2$  値をカラースケールに基づいてプロットした調理スパゲティ試料断面の  $T_2$  画像を Fig. 1-3 に示した。調理スパゲティ試料の  $T_2$  値は、大部分の領域において 20-40 msec の範囲におさまったが、乾燥スパゲティと冷凍スパゲティの中心部の  $T_2$  値は 10 msec 未満であった。これらの低  $T_2$  値領域におけるプロトンの信号強度は非常に弱く、 $T_2$  値の計算における指数関数的フィッティングには充分ではなく、この部分は Fig. 1-3 の画像では黒い部分として示されている。一方、生スパゲティと惣菜調理スパゲティの中心部の  $T_2$  値は乾燥スパゲティや冷凍スパゲティに比べて長かった。LL スパゲティについては、 $T_2$  値は断面全体において 30 msec 程度であった。生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティの表層の  $T_2$  値は LL スパゲティや惣菜調理スパゲティよりも長かった。



**Fig. 1-3.**  $T_2$  images and moisture line profiles of spaghetti samples: fresh (A), dried (B), frozen (C), luncheon (D), and LL spaghetti (E). Bar on  $T_2$  image A=1 mm. Moisture line profiles were obtained on the central horizontal lines of the  $T_2$  images.

### 3. 2 $T_2$ 画像から計算した水分分布

Fig. 1-4 に標準糊化試料の水のプロトンの  $T_2$  値と、乾燥法により分析した水分量 (g/g, db) との関係を示した。粉砕した乾燥スパゲティ、粉砕したデュラムセモリナ、デュラムセモリナを使用して調製した標準糊化試料の 3 本の回帰直線の間には特に顕著な違いは見られなかった ( $P>0.1$ )。しかしながら、粉砕したデュラムセモリナは、検量線から計算した予測値の 95% の信頼区間 ( $\pm 0.3$  g/g, db, moisture content) が、デュラムの試料 ( $\pm 0.3-0.4$  g/g, db, moisture content) や乾燥スパゲティの粉砕物 ( $\pm 0.8-0.9$  g/g, db, moisture content) と比べて小さかった。そこで粉砕したデュラムセモリナから得られた検量線を、調理スパゲティの試料の水分量の決定に使用することにした。

粉砕したデュラムセモリナの標準糊化試料の検量線に基づいて、 $T_2$  画像上の横方向の中心に引いた線上の水分のラインプロファイルを計算した。それらのプロファイルは Fig. 1-3 に  $T_2$  画像とともに示してある。乾燥スパゲティ (Fig. 1-3B) においては、中心部から表層にかけて著しい水分値の上昇が見られた。中心部は水分量が低く ( $<40\%$ , wb) 水のプロトンが速く緩和するために  $T_2$  値が計算できなかった。

この顕著な低水分部分 ( $<40\%$ , wb) は、調理する前の乾燥スパゲティの非常に低い水分量 ( $<15\%$ , wb) に由来するもので、スパゲティにおいて最も好まれている食感である、「アルデンテ」として知られる状態を醸し出すものである。「アルデンテ」とは中心部まで完全にはゆだっておらず、噛んだ際に髪の毛ほどの硬い部分を感じるという状態である。Dexter ら (1978) は電子顕微鏡を用いて、乾燥スパゲティの特徴である compact amorphous 構造がゆでた後にもスパゲティの中心部に存在することを示した。これはゆで水が乾燥スパゲティの中心までは浸透しなかったということを示している。したがって中心部では澱粉

粒は未糊化状態のままであったと考えられる。

冷凍スパゲティのラインプロファイルにおいても、中心部から表層にかけて著しい水分値の上昇が見られ、中心部には明瞭な低水分領域が存在し、乾燥スパゲティの場合と類似していた。冷凍スパゲティは乾麺をゆでた後に速やかに凍結させて作られるため、冷凍状態でゆで直後の水分分布が維持されていると予想される。それを短時間加熱して供されるので、乾麺をゆでた直後と類似した水分分布となるのであろう。

それに対して生スパゲティは、調理前でも 30% wb 程度の水分量があるため、ゆでた後の中心部の水分量も乾燥スパゲティよりも多く、乾燥スパゲティや冷凍スパゲティの場合に見られたような低水分部分は認められなかった (Fig. 1-3A)。

惣菜調理スパゲティにおいても、中心部から表層にかけての水分の勾配は緩やかで、中心部には明瞭な低水分部分は見られなかった (Fig. 1-3D)。この状態はゆで後の保管により水分が表層から中心部に移行することに起因する。ゆで上げ後に水分が表面部分から中心部へ浸透移行することによって、麺線内の水分量が均一化することは、Kojima ら (2001) のゆで麺の NMR マイクロイメージングによる研究でも報告されている。

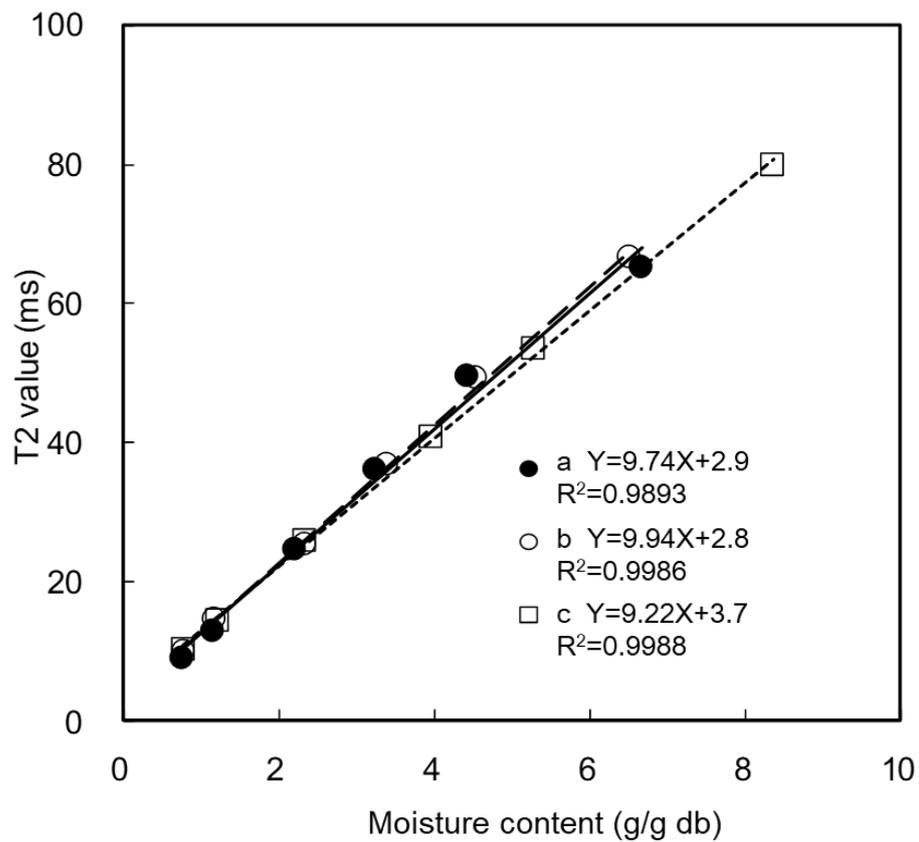
LL スパゲティについては、水分の勾配はほとんど見られなかった (Fig. 1-3E)。これは長時間の加熱殺菌による水分の均一化に起因しているものとみられる。

生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティの表層の水分量 (>80%, wb) は、惣菜調理スパゲティや LL スパゲティよりも高かった。この違いは、試料の加熱手法の違いに起因する。生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティは、それぞれ湯の中で 6 分、9 分、1 分ゆでられるので、ゆで湯からの水分が表面から吸収され、表層の領域が高水分となる。それに対して、惣菜調理スパゲティと LL スパゲティの試料は、水を加えることなくそれぞれ電子レンジで 40

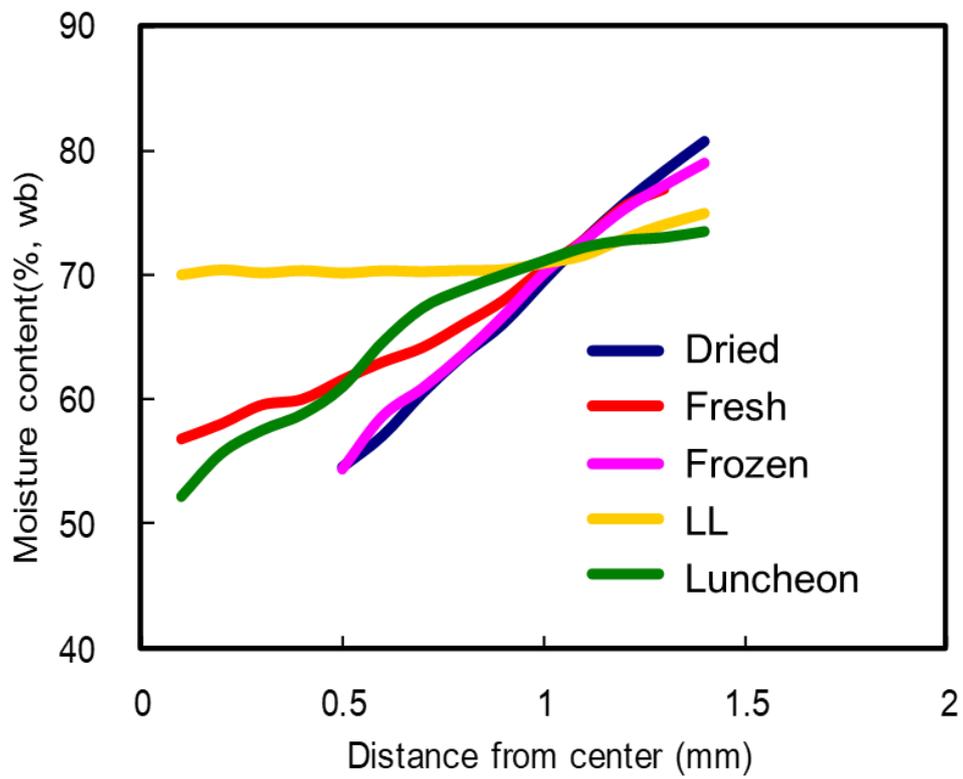
秒、フライパンで1分加熱されている。

各スパゲティ試料について、3つの  $T_2$  画像から、中心部から同心円状に 0.1 mm 幅に区分けした部分の平均水分量を計算し、これらを中心部からの距離に対してプロットした (Fig. 1-5)。水分量の変動係数は、半径 0.4 mm 以内の中心部では 0.4-10.6 % であり、外側では 0.3-2.6 % であった。得られた曲線は、スパゲティ試料の平均の水分勾配を示すものである。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティでは、急勾配であったが、生スパゲティと惣菜調理スパゲティでは緩やかな勾配となり、LL スパゲティではほぼ均一な水分分布であった。惣菜調理スパゲティではシグモイド (S 字) 型の水分分布曲線を示していた。これら 5 つのスパゲティ試料の水分分布曲線は互いに水分レベル 70%,  $w_b$  のところで交わったが、これは興味深い現象である。仮説ではあるが、この部分の水分量がパスタの澱粉が完全に糊化した時に安定的に抱え込める上限の水分量となっているところではないかとみられる。ゆで後の麺やパスタの経時変化 (ゆでのび) 過程においては、この部分より外側の高水分の領域は澱粉にとって水分が過剰な状態であり、外部への蒸発や内部への浸透により水分を失って最終的に水分量が 70%,  $w_b$  に落ち着こうとする。逆にこの部分より内側の低水分の領域は澱粉にとって水分が不足している状態であり、外側の領域からの水分を吸収する。こうして水分がパスタ全体として平均化する方向へ変化するのがゆでのび現象なのではないかと考えている。なお、パスタの澱粉が安定的に抱えられる水分量は糊化の程度に依存し、乾麺スパゲティをアルデンテにゆで上げた場合のように中心部分の糊化の程度が不完全な場合には、抱えられる水分量は低く、70%,  $w_b$  にまではならず、ゆで上げ後に時間を置いても水分勾配は完全に失われることはない。一方、LL スパゲティの場合は加熱殺菌により中心部までが完全に糊化して中心部でも水分を 70%,  $w_b$  まで抱え込めるようになっている。この現象の仮説の証明に関しては、澱粉の糊化の程度と糊化した澱粉からの水分の損失や、糊化し

た澱粉内部への水分の浸透を定量的に関連づけるさらなる研究が必要である。



**Fig. 1-4.** Relationship between moisture content and  $T_2$  of water protons in standard gel samples: pulverized dried spaghetti (a), pulverized durum semolina (b), and durum semolina (c).



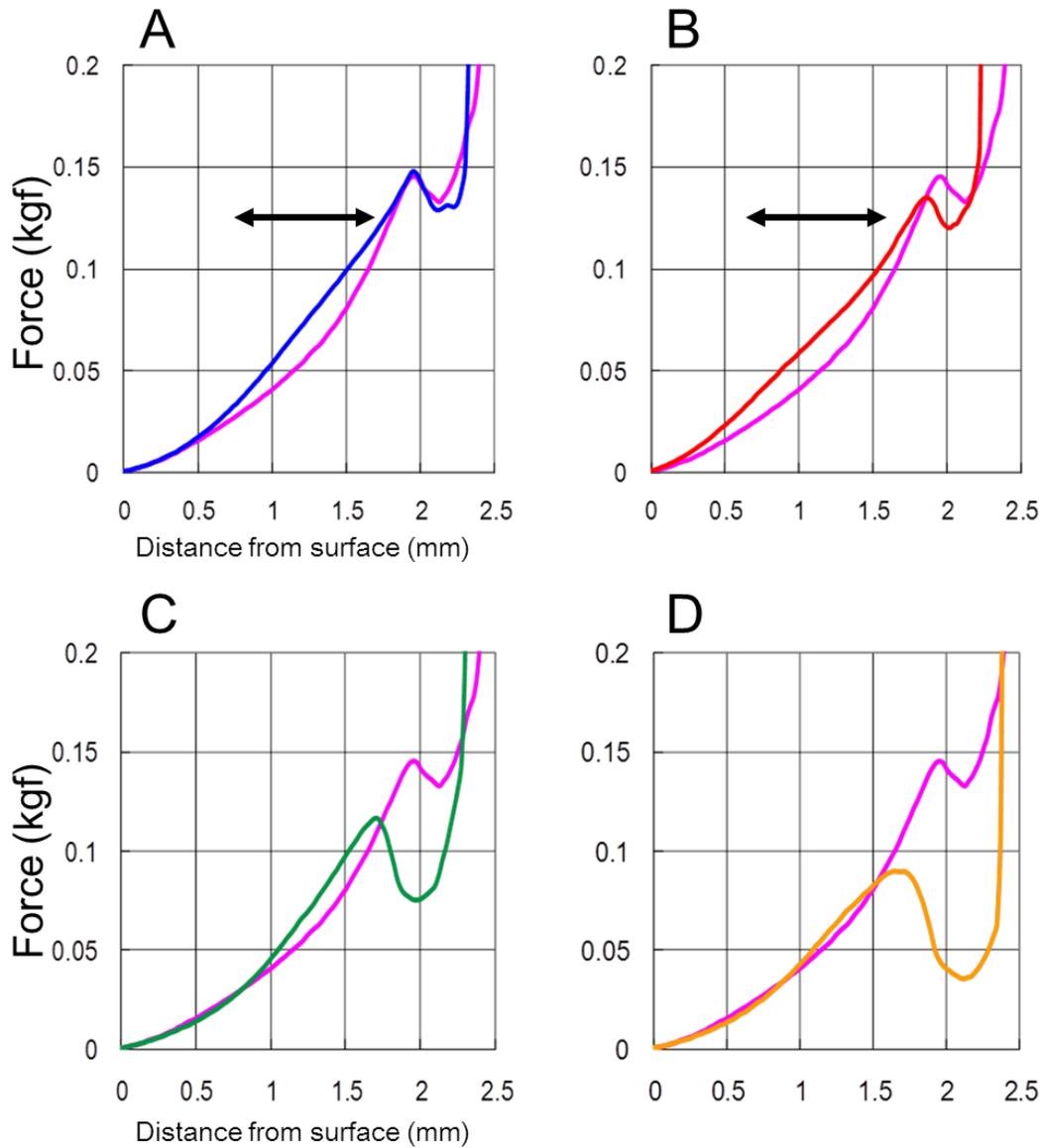
**Fig. 1-5.** Average moisture profiles of sections segmented concentrically every 0.1 mm starting from the center of the  $T_2$  images of three spaghetti samples.

### 3. 3 調理されたスパゲティ試料の物性

乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティ、惣菜調理スパゲティ、LLスパゲティの力-距離曲線を、生スパゲティの力-距離曲線を対照としてそれに重ねる形で Fig. 1-6 に示した。乾燥スパゲティ (Fig. 1-6A) と冷凍スパゲティ (Fig. 1-6B) の曲線は、変位約 1 mm のところで生スパゲティよりも高いところに位置していた。この領域は、水分のラインプロファイルにおいては、低水分量の領域に相当する。人間が噛む際には、この低水分部分を押しところで硬さを感じていることになるが、このようにしてアルデンテ状態がこの物性データにおいても検出されたことになる。また生スパゲティでは、変位 1-1.5 mm 程度においてかかる力が低く、その後破断点にかけて急激に力が上昇するが、この状態が生スパゲティ特有のモチモチとした食感を示している。この食感は麺の断面の中心部の水分量が乾燥スパゲティや冷凍スパゲティよりも多いことのほか、乾燥させていないことによるグルテンの変性の少なさや澱粉の物性の違いが寄与していると考えられる。

惣菜調理スパゲティ (Fig. 1-6C) と LL スパゲティ (Fig. 1-6D) は他のスパゲティ試料に比べて破断点が低かった。これは、惣菜調理スパゲティは調製後に長い時間置かれており、LL スパゲティは加熱殺菌のために長い時間加熱されているため、水分が均一化して食感が軟化したことを示している。惣菜調理スパゲティと LL スパゲティの曲線における、ピークのあとの大きな落差は、それらの試料が脆い（粘性が低く、非常に簡単に破断する）ことを示している。Dexter ら (1983) は、スパゲティの粘性は、調理時間と、調理後の経過時間に関係があると報告している。Gonzalez ら (2000) は、調理したパスタの物性図における破断ピーク値は、硬さの特徴を表し、これが調理後の静置時間が延びるにつれて下がっていくことを見出している。惣菜調理スパゲティや LL スパゲティも、ゆで後の時間経過や長時間の加熱で、粘性は大幅に低下していた。このように、

水分分布が調理スパゲティの物性を決定づける主要な要因であることが示された。



**Fig. 1-6.** Force-distance curves of four spaghetti samples compared with that of fresh spaghetti: dried (A), frozen (B), luncheon (C), and LL spaghetti (D). The purple line on each graph indicates the curve of fresh spaghetti. The regions indicated by an arrow on graphs A and B correspond to the low moisture region shown in Fig. 1-3B and C, respectively.

#### 4. 総括

各種の調理スパゲティの水分分布の違いを、粉碎したデュラムセモリナの標準糊化試料の水分量と MRI における  $T_2$  値との相関に基づき、 $T_2$  画像を用いて観察した。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティを調理した試料においては、中心部にアルデンテ状態を示す明瞭な低水分部分が存在した。このことは、冷凍スパゲティにおいては、ゆで直後の水分勾配が維持されて、それが短時間の加熱後の水分分布に反映されていることを示すものである。他の種類のスパゲティについては、中心部の水分量はより高く、特に LL スパゲティ試料の水分分布はほぼ均一であった。同心円状に区分けした部位の平均水分のプロファイルを用いると、水分分布を定量的に比較することができた。カー距離曲線において表された物性は、水分分布を反映していた。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティ試料については、中心部の低水分領域に相当する部分を治具が押すときに、より強い力が認められた。惣菜調理スパゲティと LL スパゲティにおいては、他のスパゲティ試料よりも破断点が低く、ピーク値のあとに大きな落差があったが、これは水分が均一になっていることにより、物性が軟らかく脆いものとなっていることを意味している。これらの実験結果から、水分分布が調理スパゲティの物性を決定づける主要な要因であることを確認し、MRI のデータを物性試験のデータと関連づけることで、水分分布画像を用いて調理スパゲティの品質の評価が可能であることが示された。このことにより、MRI 技術を高品質の調理パスタの開発に役立てることができると考えられる。

## 引用文献

D'Egidio, M.G., Mariani, B.M., Nardi, S., and Novaro, P. (1993). Viscoelastograph measures and total organic matter test: Suitability in evaluating textural characteristics of cooked pasta. *Cereal Chem.*, **70**, 67-72.

Dexter, J.E., Dronzek, B.L., and Matsuo, R.R. (1978). Scanning electron microscopy of cooked spaghetti. *Cereal Chem.*, **55**, 23-30.

Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Dronzek, B.L. (1979). A scanning electron microscopy study of Japanese noodles. *Cereal Chem.*, **56**, 202-208.

Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and Morgan, B.C. (1983a). Spaghetti stickiness: Some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. *J. Food Sci.*, **48**, 1545-1551, 1559.

Dexter, J.E., Kilborn, R.H., Morgan, B.C., and Matsuo, R.R. (1983b). Grain Research Laboratory Compression Tester: Instrumental Measurement of cooked spaghetti stickiness. *Cereal Chem.*, **60**, 139-142.

Dexter, J.E., Matsuo, R.R., and MacGregor, A.W. (1985). Relationship of instrumental assessment of spaghetti cooking quality to the type and amount of material rinsed from cooked spaghetti. *J. Cereal Sci.*, **3**, 39-53.

Duce, S.L., and Hall, L.D. (1995). Visualisation of the hydration of food by nuclear

magnetic resonance imaging. *J. Food Eng.*, **26**, 251-257.

Edwards, N.M., Izydorczyk, M.S., Dexter, J.E., and Biliaderis, C.G. (1993). Cooked pasta texture: Comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. *Cereal Chem.*, **70**, 122-126.

Edwards, N.M., Biliaderis, C.G., and Dexter, J.E. (1995). Textural characteristics of wholewheat pasta and pasta containing non-starch polysaccharides. *J. Food Sci.*, **60**, 1321-1324.

Gonzalez, J.J., McCarthy, K.L., and McCarthy, M.J. (2000). Textural and structural changes in lasagne after cooking. *J. Texture Stud.*, **31**, 93-108.

Guan, F., and Seib, P. A. (1994). Instrumental probe and method to measure stickiness of cooked spaghetti and noodles. *Cereal Chem.*, **71**, 330-337.

Hills, B.P., Babonneau, F., Quantin, V.M., Gaudet, F., and Belton, P.S. (1996). Radial NMR microimaging studies of the rehydration of extruded pasta. *J. Food Eng.*, **27**, 71-86.

Hills, B.P., Godward, J., and Wright, K.M. (1997). Fast Radial NMR microimaging studies of pasta drying. *J. Food Eng.*, **33**, 321-335.

Horigane, A.K., Toyoshima, H., Engelaar, W.M.H.G., Okubo, A., and Nagata, T. (1999). Internal hollows in cooked rice grains (*Oryza Sativa* cv. Koshihikari) observed by NMR

micro imaging. *J. Food Sci.*, **64**, 1-5.

Koizumi, H., Yasui, A., Tsutsumi, C., Matsunaga, R., and Yoshikawa, S. (1979). Collaborative study on precisions of moisture determination using oven-drying method. (In Japanese with English abstract) *Rep. Natl. Food Res. Inst.*, **34**, 89-96.

Kojima, T., Horigane, A.K., Yoshida, M., Nagata, T., and Nagasawa, A. (2001). Change in the status of water in Japanese noodles during and after boiling observed by NMR micro imaging. *J. Food Sci.*, **66**, 1361-1365.

Kovacs, M.I.P., Noll, J.S., Dahlke, G., and Leisle, D. (1995). Pasta viscoelasticity: Its usefulness in the Canadian durum wheat breeding program. *J. Cereal Sci.*, **22**, 115-121.

Malcolmson, L.J., Matsuo, R.R., and Balshaw, R. (1993). Textural optimization of spaghetti using response surface methodology: Effects of drying temperature and durum protein level. *Cereal Chem.*, **70**, 417-423.

Matsuo, R.R., and Irvine, G.N. (1969). Spaghetti tenderness testing apparatus. *Cereal Chem.*, **46**, 1-6.

Matsuo, R.R., and Irvine, G.N. (1971). Note on an improved apparatus for testing spaghetti tenderness. *Cereal Chem.*, **48**, 554-558.

Matsuo, R.R., Bradley, J.W., and Irvine, G.N. (1972). Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chem.*, **49**, 707-711.

McCarthy, K.L., Gonzalez, J.J., and McCarthy, M.J. (2002). Change in moisture distribution in lasagna pasta post cooking. *J. Food Sci.*, **67**, 1785-1789.

Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Foods World*, **42**, 8-12.

Voisey, P.W., and Larmond, E. (1973). Exploratory Evaluation of instrumental techniques for measuring some textural characteristics of cooked spaghetti. *Cereal Sci. Today*, **18**, 126-133,142-143.

Walsh, D.E. (1971). Measuring spaghetti firmness. *Cereal Sci. Today*, **16**, 202-205.

Zar, J. H. (1999). Comparing simple linear regression equations. In “Biostatistical Analysis, 4<sup>th</sup> Ed.”, Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ, pp. 360-376.

## 第2章 早ゆでスパゲティの水分分布と物性の解析

### 1. はじめに

早ゆでタイプの乾燥スパゲティは、これまで日本をはじめ世界各国で商品化されてきている。通常の日本において多く流通している 1.6 mm 径の乾燥スパゲティでは、ゆで時間が 7-8 分かかかるのに対し、早ゆでスパゲティでは 3-4 分となり、およそ半分となる。ゆで時間が短いことによるメリットとしては、店舗においてゆで置きをしなくてもお客様を長い時間待たせることがなくスパゲティを提供できるということのほか、少ないエネルギーで調理ができるため光熱費が削減できるだけでなく、環境に対する負荷も減らすことができ、環境にもやさしいということが挙げられる。

スパゲティのゆで時間を短縮するには、単純に考えると表層と中心の距離を短くして水分を早く浸透させればよいということになるが、そうするとスパゲティは細いものになってしまう。そこで、ゆで上げ後の太さを一般的なスパゲティの太さになるようにしながら早ゆでを実現するために、乾燥スパゲティの側面に溝をつけることが考案された。溝をつけることで、ゆで工程中の吸水が早く進行し、ゆで上がりの太さが細くならずゆで時間だけを短縮することが可能となった。溝がつけられた早ゆでスパゲティには、断面が鳥のクチバシ形のもの（門岡と藤田 2005）、N 字型のもの（藤田ら 2011）、M 字型のもの（藤田ら 2012a；藤田ら 2013a；藤田ら 2013b；藤田ら 2015）、クローバー形のもの（西村ら 2001）、風車様の形状のもの（藤田ら 2012b）、真ん中に孔が開いているもの（田中ら 2015；田中ら 2017；岸岡 2014）等が出されている。これらの早ゆでタイプの乾燥スパゲティは全てのものがゆで上がり時に溝が完全に閉じて断面が円くなるわけではない。早ゆでではあるものの、ゆで上がった

後でも溝が開いたままのものはいくつも存在する。また食感もゆで上がり時に硬さが残るものばかりでなく、軟らかいものも存在する。高品質の早ゆでスパゲティを設計する際には、ゆで後の外観と物性の両方を検討することが重要である。

パスタや麺の食感を決める要素として、澱粉のゲル化、蛋白質（グルテン）のネットワークの形成があげられる。一般に、ゆでたパスタの構造は、グルテン蛋白質が形成した網目構造に澱粉粒が付着した緻密なものとして説明されている（Cunin ら 1995； Resmini と Pagani 1983）。そしてそのネットワーク中への水分子の水和により、パスタや麺の弾力や粘りのある物性がもたらされるので、水分含量も食感を決定する重要な要因となる。しかし、第1章で示したように、ゆで調理後のパスタや麺の中の水分分布は一様ではなく、沸騰している水と直接接している麺線表面では、まず澱粉が吸水してゲル化するので水分含量の増加は速く、一方、中心部では表面からの水の浸透とともに糊化が内部へと進むので水分の増加は遅れる。その結果、ゆで上がったパスタや麺の横断面には表面からの距離に対応した水分の勾配が生じる。この様子は本研究以外でもMRI画像や分光学的方法により示されている（Kojima ら 2001； McCarthy ら 2002； Kojima ら 2004； Horigane ら 2006； Ogawa ら 2014）。このような水分分布を反映してゆで上がり後のゲル化も一様ではなく、表面は澱粉粒が膨潤・崩壊して糊化度が高く柔らかくなり、中心部では澱粉粒はほとんど膨潤・崩壊せず、澱粉粒がそのまま残って糊化度が低く硬さが残る（Lai ら 2004； Sekiyama ら 2012）。また、Bonomi ら（2012）は、MRIを使った実験と蛋白質化学的測定を組み合わせることによって、乾燥パスタ調製時の乾燥温度が小麦粉蛋白質の変性とネットワーク形成に影響する要因のひとつで、それがゆで調理時の吸水にも影響し、パスタのゆで後の食感に深く関係することを、明らかにしている。さらに、Kojima ら（2004）は、本論文の第1章と同様に、ゆで

麺（うどん）を実験材料として内部の水分分布を MRI で画像化し、それを物性試験によって得られた物性パラメータと定量的に関係づけて報告している。

本研究ではこの水分分布と物性を組み合わせた手法を利用し、ゆで後に溝が閉じて適度な硬さのある 2 つのタイプの早ゆでスパゲティを MRI と物性試験により評価することにした。それにより、早ゆでスパゲティが短いゆで時間でありながらなぜ食感が消費者に受け入れられているのかといった理由を明らかにする。本研究で得られた知見は、新しい早ゆでスパゲティの製品の設計に役立つと考えられる。

## 2. 試料および方法

### 2. 1 スパゲティの試料

本研究では通常の種類のない乾燥スパゲティ（試料 A）をコントロールとして使用し、2種類の手ゆでスパゲティ（試料 B と C）を調製した。100 重量部のデュラム小麦のセモリナ（蛋白質含量：12.8g/100g）に 27 重量部の水を混合し、ダイスを通して高圧（9.8 MPa）でパスタを押し出した後に 70-90°C で 5-12 時間乾燥してスパゲティ試料を調製した。試料 A-C の断面を Fig. 2-1 に示した。通常のタイプのスパゲティである試料 A の直径は、1.6 mm であった。試料 B には麺線に沿って V 字型の溝がついており、試料 C には風車型の形状で 3 つの溝がついている。ゆでる際には、スパゲティの試料は、食塩を加えない 10 倍重量以上の沸騰水に投入した。各スパゲティ試料の最適ゆで時間は、日清製粉グループのパスタ開発グループのメンバーが官能評価を行うことにより決定し、その状態は麺線の中にわずかに糊化していない硬い部分が残ると感じるものである。試料 A の最適ゆで時間は 7 分であった。試料 B と C は最適ゆで時間がそれぞれ 4 分と 3 分となるように設計され、ちょうどその時間で溝が閉じるようになっている。調理後のスパゲティ試料は直ちに 1 本ずつ分け取ることで余熱を除き、さらに測定までの間ラップで覆うことによって試料の乾燥や蒸れを防止し、測定までの水分分布や物性の変化を最小限にした。

### 2. 2 MRI 測定

MRI 測定とそのデータ処理は、第 1 章の研究において使用したのと同じ装置を用いて行った。ただし、測定に用いたバードケージ型ラジオ波送受信コイルは内径 15 mm のものを用い、1 cm の長さに切断した 2 本のスパゲティ試料を入れる NMR 用のチューブも外径 15 mm のものを用いた。MSME 法における

繰り返し時間、エコータイム、一定間隔 (4 ms) のエコー数、視野、マトリックスサイズとスライス厚は、それぞれ 3 s、4 ms、32、 $10 \times 5 \text{ mm}^2$ 、 $128 \times 64$  と 1 mm であった。その結果、1 画素のサイズは  $78 \times 78 \times 1000 \text{ }\mu\text{m}^3$  となり、全スキャン時間は 3 分 12 秒となった。測定は  $21^\circ\text{C}$  で行った。測定はスパゲティ試料 1 本につき 3 ヶ所 (3 スライス) において行い、そのうち平均的な 1 つのスライスのデータを代表データとして採用した。

### 2. 3 $T_2$ 値を水分量に換算するための検量線

$T_2$  値を水分量 (g/100g, W. B.) に換算するための検量線は、標準糊化試料の  $T_2$  値と水分量の関係の指数関数式による回帰で求めた。標準糊化試料は、乾燥スパゲティの粉碎物を比率を変えて超純水と混合してプラスチック製の袋に入れ、沸騰水中で 10 分間加熱して調製した。各糊化試料はガラス製の管 (外径 5 mm、長さ 3 cm) に入れ、両端をフィルムで封じて、NMR チューブ (外径 15 mm) に挿入した。各標準糊化試料の  $T_2$  値はスパゲティ試料の MRI と同じ方法により測定した。

### 2. 4 水分量の測定

ゆで上げ後のスパゲティ及び標準糊化試料の水分量は、乾燥器中で  $135^\circ\text{C}$  で 2 時間乾燥させた後の重量の減少量を測定することにより求めた。

### 2. 5 物性の測定

第 1 章の研究において使用したのと同じ材料試験機を用いて、同条件でスパゲティの物性試験を行った。早ゆで乾燥スパゲティの場合は、ゆでる前にあらかじめ溝の先端に防水性のインクで印をつけ、ゆで上げ後に溝が閉じても元の溝の位置がわかるようにし、物性を測定する際にはこの印をもとにせん断方向

を調整した。各試料のカー歪み曲線を、ゆで後 5-10 分のスパゲティの麺線 10 本の測定データの平均を計算して求めた。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 各乾燥スパゲティの断面とゆで上がり時の形状と平均水分

Fig. 2-1 に今回使用した各乾燥スパゲティの断面を示した。乾燥スパゲティ B と C は A よりも外形（輪郭）は大きかった。また、乾燥スパゲティ B と C の 1 本当りの重量は、A に比べてはやや重かった（Table 2-1）。乾麺スパゲティ A の標準ゆで時間は 7 分、B は 4 分、C は 3 分である。それぞれこの標準時間ゆでた時に、B と C はともに A のゆで上がり時とほぼ同じ太さになるように設計されている。Table 2-1 に乾燥法で測定した、乾燥スパゲティ A、B、C のゆで上がり時の水分量を示した。乾燥スパゲティ A の水分は 7 分ゆでると 63.1%（Table 2-1, A2）にもなり、4 分ゆでの乾燥スパゲティ B（58.0%）や 3 分ゆでの C（59.0%）に比べて多かった。これらのゆで時間において、各スパゲティ試料は食べるのに適した食感となった。乾燥スパゲティ A については 5.5 分間ゆでると B や C のゆで上がりに近い水分量 58.6% になった（Table 2-1, A1）が、この状態ではまだゆで時間が足りず、中心部の未糊化部分が大きかった。このように、乾燥スパゲティ B と C は A よりもゆで上がり時の水分量が低かったが、これは B と C の表層に A ほど高水分の領域が広く存在しないためと考えられる。これらの結果より、早ゆで乾燥スパゲティはゆで時間が短く、しかも総水分量が低い状態で食べるのに適した状態となることが明らかになった。

Table 2-1. Weight and total moisture content of the spaghetti samples

Sample before boiling	A		B	C
Weight/strand (g) <sup>a</sup> n=10	0.69 ± 0.01		0.81 ± 0.02	0.81 ± 0.02
Sample after boiling	A1	A2	B	C
Boiling time (min)	5.5	7	4	3
Weight increase of 100 g dry pasta after boiling. (g/100 g)	205	223	207	220
Moisture content (g/100g, W. B.) n=5	58.6 ± 0.4	63.1 ± 0.4	58.0 ± 0.5	59.0 ± 0.3
Weight/strand (g) <sup>b</sup> n=10	1.38 ± 0.04	1.53 ± 0.03	1.63 ± 0.08	1.72 ± 0.04

Mean value ± SD.

a. Strand length was 25 cm.

b. Strand length before boiling was 25 cm.

### 3. 2 スパゲティの試料の $T_2$ 画像と水分分布

各乾燥スパゲティ試料断面のゆで工程における  $T_2$  分布の変化を Fig. 2-1 に示した。第 1 章でも述べたが、スパゲティ試料において、MRI における  $T_2$  値は麺線中における水分含量を反映するので、ゆで時間が進むにつれて表層から中心部に向けて少しずつ水分が浸透してゆく様子が  $T_2$  画像から観察できた。スパゲティ試料 A については、ゆで過程において水分は表面から中心部に向かって浸透して行き、 $T_2$  分布は同心円状となった。そして  $T_2$  値 5 ms 未満の領域がわずかに残ったところでスパゲティは食べるのに適したゆで上がり状態となった。

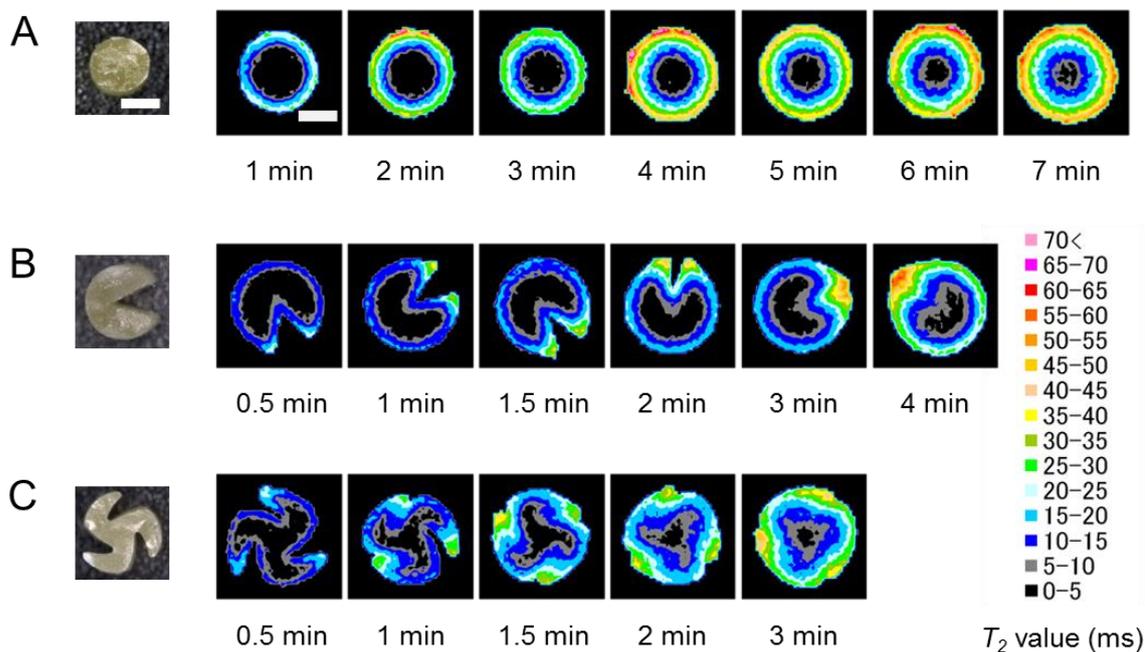
試料 B と C においては、最初に溝の周辺の尖った部分の先端付近が急速に膨潤して溝が閉じた (Fig. 2-1 B, Fig. 2-1 C)。その後表面から内部に水分が浸透した。4 分間ゆでた試料 B の断面は、溝が閉じた部位はわずかに尖っていたが、全体的な外観は通常の丸型のスパゲティと変わらないように見えた。また試料 B では、溝は膨潤して完全に塞がったが、水分分布は同心円状にはならず、低水分領域は U 字型となった (Fig. 2-1 B)。4 分ゆでの試料 B において、 $T_2$  値の低い領域の面積は、7 分ゆでの試料 A よりも広く、 $T_2$  値が高い領域は試料 A に比べて狭かった。3 分ゆでの試料 C についても、ゆで上がり時の外観は通常の丸型のスパゲティと変わらないように見えた。また  $T_2$  値の低い領域は三角形状になり、その面積はゆで時間が短いにもかかわらず 4 分ゆでの試料 B よりも小さかった (Fig. 2-1 B, Fig. 2-1 C)。

Horigane ら (2006) の報告のように、実際の試料で観察された範囲 (5-70 ms) の  $T_2$  値と水分量 (g/100g, W.B.) との間には、指数関数的な相関がみられた (Fig. 2-2)。乾量基準 (ドライベース、単位: g/g db) の水分量として示した第 1 章の Fig. 1-4 とは異なり、ここでは一般的に用いられる湿量基準 (ウェットベース、単位: g/100g, W. B.) の水分量を採用した。標準糊化試料から得た検量線を使用して、 $T_2$  画像の各画素の  $T_2$  値を水分値に換算することで水分分布画像を得るこ

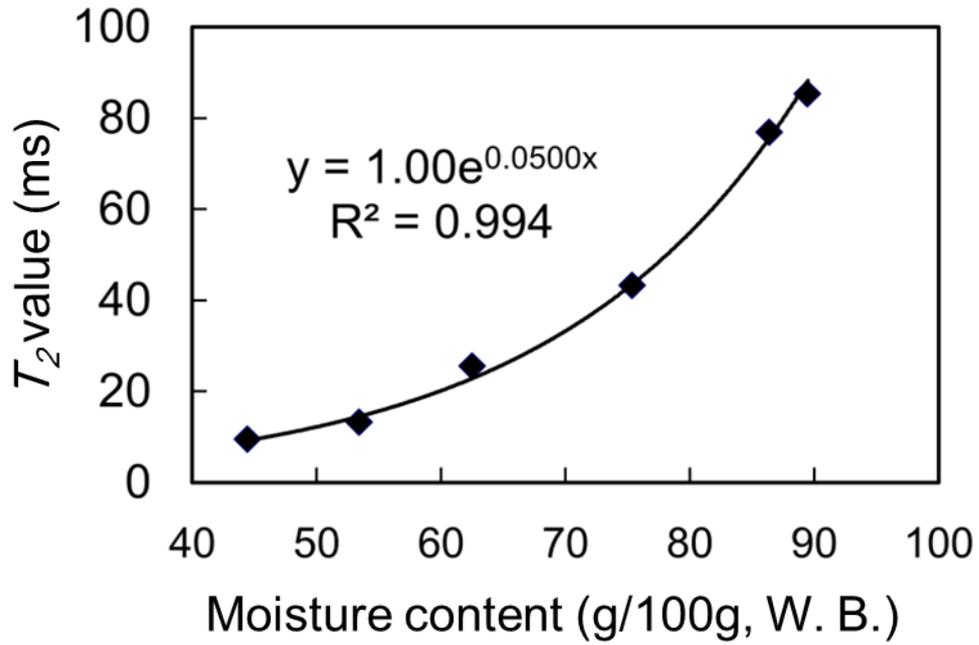
とができた。

Fig. 2-3 にゆで後のスパゲティ試料の水分分布画像と水分プロファイルを示した。水分プロファイルは各画像の赤線で示した位置のものである。試料 A は、その同心円状の水分分布を反映して、5.5 分ゆで (Fig. 2-3 A1) と 7 分ゆで (Fig. 2-3 A2) において対称形の水分プロファイルを呈した。試料 A1 のゆで時間は短いため、その水分プロファイルは試料 A2 の水分プロファイルよりも、澱粉粒の膨潤度合いが低いため、中心部の低水分部分がより広く、表層の水分含量も低かった。ゆで時間 7 分の試料 A の中心部においては、低水分部分が小さな円状に残った (Fig. 2-3 A2)。第 1 章で述べたように、これがいわゆるアルデンテ状態である。

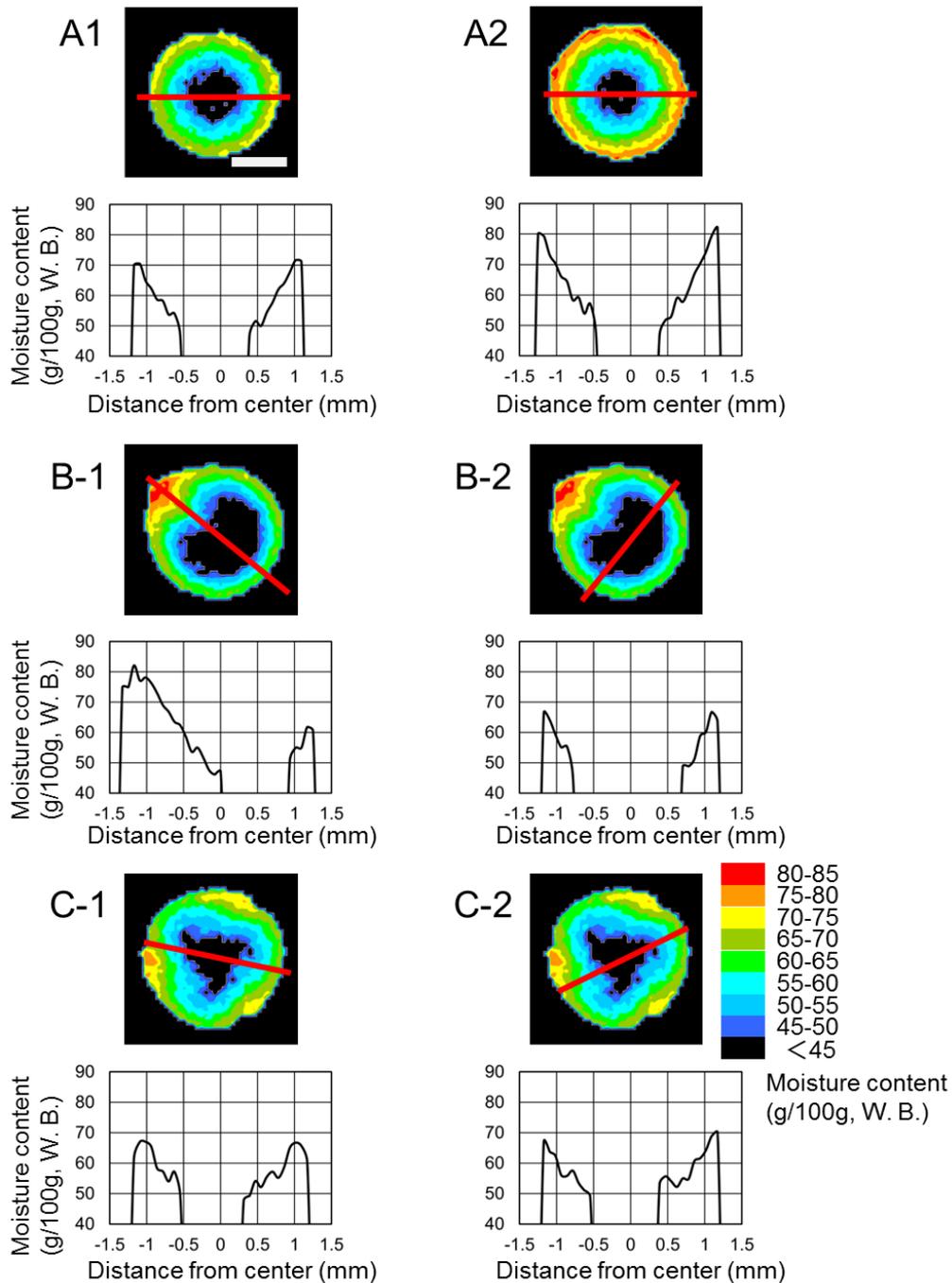
一方で、試料 B の水分プロファイルは、同心円状でない水分分布を反映して著しく非対称であった (Fig. 2-3 B-1, Fig. 2-3 B-2)。試料 C においても、水分プロファイルは非対称形であった (Fig. 2-3 C-1, Fig. 2-3 C-2) が、中心部の低水分領域は試料 B よりも小さかった。



**Fig. 2-1.** Cross sectional images of strands of the dried spaghetti samples and changes in the  $T_2$  distribution during the boiling process. A, ordinary round spaghetti; B, quick boil spaghetti with a V-shaped groove; C, quick boil spaghetti with three grooves in a windmill shape. The bar on image A indicates 1 mm.



**Fig. 2-2.** Calibration curve for conversion of  $T_2$  values into moisture content using pulverized dried spaghetti gel samples. x, moisture content; y,  $T_2$  value;  $R^2$ , determination coefficient.



**Fig. 2-3.** Images of moisture distribution and moisture profiles of spaghetti samples after boiling. The moisture content profiles were obtained at the positions indicated by a red line on each image. A1 and A2, ordinary type dried spaghetti boiled for 5.5 min and 7 min, respectively; B-1 and B-2, quick boil dried spaghetti with a V-shaped groove boiled for 4 min; C-1 and C-2, quick boil dried spaghetti with three grooves boiled for 3 min. The bar on image A1 indicates 1 mm.

### 3. 3 ゆでたスパゲティ試料の物性

それぞれのスパゲティの食感を比較するために物性試験を実施した。まず乾燥スパゲティ A についてゆで時間を変えた A1 と A2 について物性試験を行ったところ、A1 には破断点が 2 つあり、第一破断ピークの高さは A2 の破断ピークと同じレベルであったが、ピークにおける歪み率 (%) は A2 よりも A1 の方が小さかった (Fig. 2-4 A)。これは A1 の方がゆで時間が短く、低水分の硬い未糊化領域が広く残っているためであると考えられる。

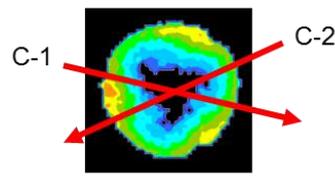
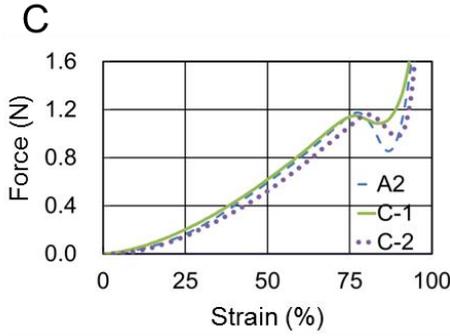
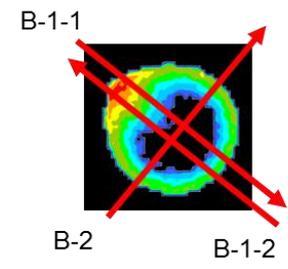
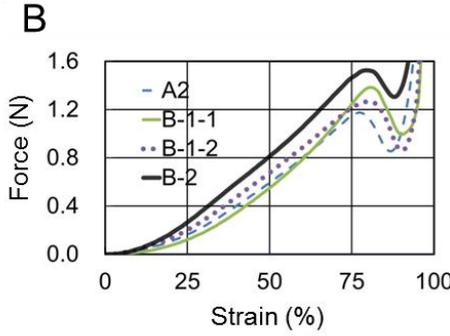
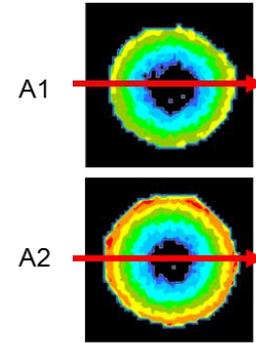
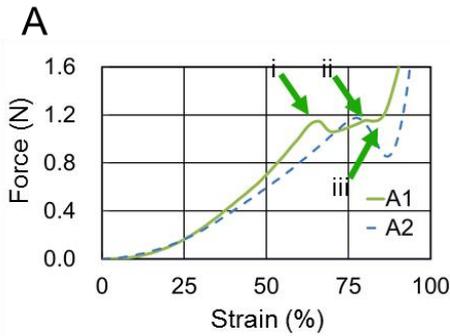
続いて乾燥スパゲティ B と C について、物性試験を行い、A2 と比較した。B と C とともに水分分布が同心円状とならないため、せん断する方向を変えると物性曲線が変わってくるものと考えて、それぞれ方向を変えてテストを行った。

乾燥スパゲティ B については、以下 3 つのせん断方向でテストを行った (Fig. 2-4 B)。方向 B-1-1 は、溝が閉じた部の高水分領域から低水分部分に向けてスパゲティをせん断したものである。このカー歪み曲線は、歪み率 70% 以下では、3 方向のうち最も低い位置にきたが、これは治具が高水分部分から入るために最初にかかってくる力が弱いためである。また、破断ピークの直前に力値が高まってくるのは、治具が入っていく過程の後半にある低水分部分に対して強い力が必要となるためである。方向 B-1-2 は、方向 B-1-1 とは逆方向であり、低水分部分から高水分部分に向けてスパゲティをせん断したものである。歪み率 70% 以下のところでは方向 B-1-1 よりも高い位置にカー歪み曲線がくるが、これはせん断し始めた直後に治具が低水分部分に入り、最初に強い力が必要になるためである。方向 B-2 は、方向 B-1-1 や方向 B-1-2 に対して垂直の方向にせん断したものである。3 方向の中でカー歪み曲線が最も高い位置に観察されたが、この方向の水分のラインプロファイル (Fig. 2-3 B-2) からわかるように、治具の通り道において低水分部分の占める割合が大きく、せん断の最初から最後までずっと大きな力が必要となるためである。このように、乾燥スパゲティ B では、

物性試験において示された物性は水分分布をよく反映し、せん断の方向によって大きく異なることがわかった (Fig. 2-4 B)。

乾燥スパゲティ C では 2 方向からせん断を行った (Fig. 2-4 C)。方向 C-1 は溝が閉じた部位を始点としてせん断したものである。また、方向 C-2 は低水分部分を始点としてせん断したものである。これらの 2 つのせん断方向での破断点における力、歪み率ともに A2 の破断点と近い値で、A2 と C-1、C-2 の力-歪み曲線の違いは小さかった。これらの 3 つのせん断方向での、対応する水分のラインプロファイル (Fig. 2-3 : a2, c-1, c-2) を見ると、水分量が検出限界以下の低水分領域の広さがほぼ同じであった。このことが物性曲線を似たものにしていくと考えられる。

A2 の表面の高水分領域は、軟らかいが薄いために物性試験で測定される物性には影響を与えないようで、破断の直前の最大の力に影響を与えるのは中心部の低水分領域であった。こうして試料 A は試料 B や C よりもゆで時間が長く、麺線表面を覆うかなりの面積の高水分部分を有しながらも適度な硬さを維持していると考えられる。



**Fig. 2-4.** Picture: Material tester with spaghetti sample. Force-strain curves of spaghetti samples after boiling (left row). A1 and A2, ordinary type spaghetti boiled for 5.5 min and 7 min, respectively; B, quick boil spaghetti with a V-shaped groove boiled for 4 min; C, quick boil spaghetti with three grooves boiled for 3 min. Red arrows on each moisture distribution image (right row) indicate the shearing directions. The force-strain curve of Sample A2 was overlaid as a control on those of Samples B and C. Green arrows: i, first breaking peak; ii, second breaking peak; iii, cutting point.

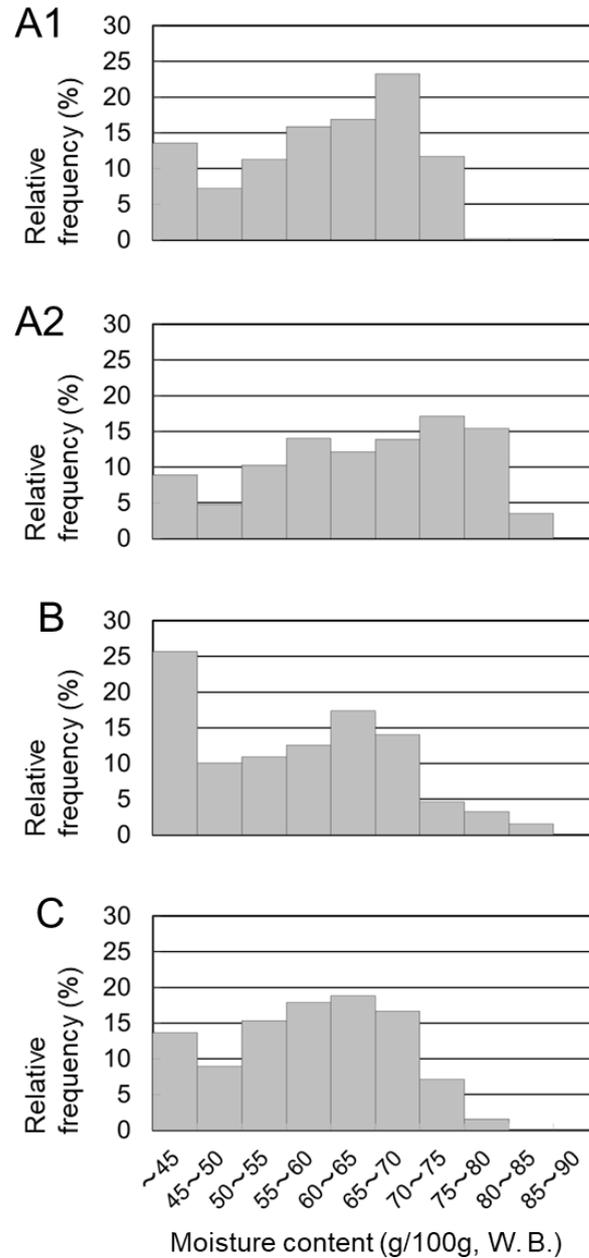
### 3. 4 ゆでたスパゲティの試料の水分のヒストグラム

ゆでたスパゲティの水分のヒストグラム (Fig. 2-5) を、Fig. 2-3 に示した水分分布画像から求めた。水分量 45 g/100g, W. B. 未満の画素の相対頻度は、試料 A1 においては 13% を占めていたのに対し、試料 A2 では 9% にまで減少していた。この結果は、ゆでる間に水分が浸透していることを意味している。

水分量の最頻値は、試料 A1 (ゆで時間 5.5 分) では 65-70 g/100g, W. B. であったが、試料 A2 (ゆで時間 7 分) では 70-75 g/100g, W. B. に移行し、75 g/100g, W. B. より水分量の多い画素の相対頻度もかなり増加した。このことは、画素数の多い表層領域がゆで水に長くさらされることで、澱粉粒の膨潤が進み、水分含量が高くなっていることを示すものである。

試料 B と C のヒストグラムにおいては、ピークは水分量 60-65 g/100g, W. B. に見られ、75 g/100g, W. B. より水分量の多い画素の相対頻度は試料 A2 よりも明らかに低かった。これは早ゆでスパゲティのゆで時間が短いことに起因するものである。試料 A2 の表層は高水分量で膨潤した澱粉が存在する領域であるが、この領域はゆでたスパゲティが食べるのに適しているかどうかという品質には影響を与えていないように思われる。

試料 B の 45 g/100g, W. B. 未満の水分量の画素の相対頻度は、試料 C よりも高かった。これは、試料 B は、せん断の方向に関わらずカー歪み曲線の破断点において試料 C よりも強い力がかかる (Fig. 2-4 B, C) ことの裏付けとなる。このように試料 C のゆで過程における中心部への水分浸透速度は、試料 B よりも速く、水分の吸収は、溝の数 (試料 B が 1、試料 C が 3) の影響を受けていると考えられる。



**Fig. 2-5.** Moisture histograms of spaghetti samples obtained from moisture distribution images shown in Figs. 2-3 and 2-4. For samples indicated by A1, A2, B and C, the type of spaghetti and boiling time were same as those in Figs. 2-3 and 2-4.

#### 4. 総括

早ゆでスパゲティを作製する一つの方法として、ゆで水の中心部への浸透と糊化を促進させるために麺線に沿って溝をつけることがある。本研究で使用した2種類の早ゆでスパゲティの断面はゆで後にほぼ円形になったが、通常の円形の乾燥スパゲティとは異なり、水分分布は同心円状にはならなかった。スパゲティ内部の水分分布は溝の位置、数と形により決まり、これらはゆでたスパゲティのカー歪み曲線から評価した物性に影響を与えていた。溝を有する早ゆでスパゲティのせん断方向による物性の違いが、本研究により明らかとなった。

またこの研究により、膨潤した澱粉が存在する表層の高水分領域はゆでスパゲティの食感に大きな影響を与えないことも示された。そのため、本研究に用いた早ゆでスパゲティは、通常のスパゲティよりもゆで後の総水分量が低いにも関わらず、消費者に受け入れられる食感に仕上がっている。

本研究においては、ゆでた溝つきスパゲティについて、MRI測定により得た水分分布と、カー歪み曲線の測定により得た物性を定量的に比較することに成功した。この実験結果は、溝をつけることが早ゆでのパスタや麺の作製に有効であることを実証した。溝をつけることにより、水分を中心部付近に速やかに浸透させ、糊化を促進させることができる。

溝が3つのスパゲティの品質は、溝が1つのスパゲティよりも標準的なスパゲティに近いことが判明した。また、破断前にかかる最大の力は中心部の低水分領域の影響を受けることもわかった。一方で、ゆでたスパゲティ表層の高水分領域は、物性には大きな影響を与えなかった。このように物性測定結果を関係づけることで、MRIで早ゆでの乾燥スパゲティの物性を「可視化」することができ、本研究で得た知見は今後新しいパスタや麺の設計や開発に生かすことができると考えられる。

## 引用文献

Bonomi, F., Grazia, D., Iametti, S., Marengo, M., Marti, A., Pagani, M. A., and Ragg, E. M. (2012). Structure-quality relationship in commercial pasta: A molecular glimpse. *Food Chem.*, **135**, 348-355.

Cunin, C., Handschin, S., Walther, P., and Escher, F. (1995). Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, **28**, 323-328.

Horigane, A. K., Naito, S., Kurimoto, M., Irie, K., Yamada, M., Motoi, H., and Yoshida, M. (2006). Moisture distribution and diffusion in cooked spaghetti studied by NMR imaging and diffusion model. *Cereal Chem.*, **83**, 235-242.

Kojima, T. I., Horigane, A. K., Yoshida, M., Nagata, T., and Nagasawa, A. (2001). Change in the status of water in Japanese noodles during and after boiling observed by NMR micro imaging. *J. Food Sci.*, **66**, 1361-1365.

Kojima, T. I., Horigane, A. K., Nakajima, H., Yoshida, M., and Nagasawa, A. (2004). T<sub>2</sub> map, moisture distribution, and texture of boiled Japanese noodles prepared from different types of flour. *Cereal Chem.*, **81**, 746-751.

Lai, H. M., and Hwang, S. C. (2004). Water status of cooked white salted noodles evaluated by MRI. *Food Res. Int.*, **37**, 957-966.

McCarthy, K. L., Gonzalez, J. J., and McCarthy, M. J. (2002). Change in moisture distribution in lasagna pasta post cooking. *J. Food Sci.*, **67**, 1785-1789.

Ogawa, T., and Adachi, S. (2014). Measurement of moisture profiles in pasta during rehydration based on image processing. *Food and Bioprocess Technol.*, **7**, 1465-1471.

Resmini, P., and Pagani, M. A. (1983). Ultrastructure studies of pasta: A review. *Food Microstructure*, **2**, 1-12.

Sekiyama, Y., Horigane, A. K., Ono, H., Irie, K., Maeda, T., and Yoshida, M. (2012). T<sub>2</sub> distribution of boiled dry spaghetti measured by MRI and its internal structure observed by fluorescence microscopy. *Food Res. Int.*, **48**, 374-379.

門岡克行, 藤田明男 (2005). 溝付き押出成形麺およびその製造方法. 特許第 3658477 号, 3 月 18 日.

岸岡俊 (2014). 溝付き押出成形麺およびその製造方法. 特開 2014-14350, 1 月 30 日.

田中充, 山屋多津男, 中世古拓男, 中川真一 (2015). 押出し麺、並びに該押出し麺を用いた即席麺及び乾麺の製造方法. 特許第 5771390 号, 7 月 3 日.

田中充, 山屋多津男, 中世古拓男, 中川真一 (2017). 押出し麺用のダイス. 特許第 6145478 号, 5 月 19 日.

西村和典, 久田浩隆, 大賀吉郎 (2001). 早茹でスパゲッティ. 特開 2001-17104, 1 月 23 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 土屋尚幸, 朝比奈健太, 小矢島聡, 大場由貴 (2011). 溝付き麺類. 特許第 4796083 号, 8 月 5 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 朝比奈健太, 小矢島聡, 大場由貴 (2012a). 溝付き麺類. 特許第 4970198 号, 4 月 13 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 朝比奈健太 (2012b). 溝付き麺. 特許第 5102252 号, 10 月 5 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 朝比奈健太, 小矢島聡, 大場由貴 (2013a). 溝付き麺類. 特許第 5132255 号, 11 月 16 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 朝比奈健太, 小矢島聡, 大場由貴 (2013b). 溝付き麺類. 特許第 5345229 号, 8 月 23 日.

藤田明男, 鍛冶尾房樹, 朝比奈健太, 小矢島聡, 大場由貴 (2015). 溝付き麺類. 特許第 5746673 号, 5 月 15 日.

### 第3章 乾燥ロングパスタの官能評価用語体系の構築

#### 1. はじめに

パスタは、原料のデュラム小麦の粗挽き粉（セモリナ）を水と混合、押し出し成形、乾燥の3段階の工程を経て製造される。このうち、乾燥は、水分活性を低下させて製品の保存性を高めるだけでなく、好ましい色、風味（フレーバー）、食感（テクスチャー）といった品質に関する特徴に影響する重要な工程である。パスタのテクスチャーについては、本論文の第1章および第2章で行っているように物性測定によって数値化されることも多いが、機器測定値は必ずしも人間が感じるテクスチャーを反映しているとは限らない（D'egidio と Nardi 1996）。また、機器による物性測定では、微妙な品質差を識別するには限界があり、最終的なパスタの品質評価は官能評価により行う必要がある。

原料や製造条件等が、加熱調理後のパスタの外観、風味、テクスチャーといった人間が感覚でとらえる特徴、すなわち官能特性に与える影響については、さまざまな先行研究がある。例えば、原料については、デュラム小麦のグルテンの強度が特に重要な品質決定要因であることが見出されている（Feillet と Dexter 1996）。また、乾燥温度が高いと品質が向上するとの報告（Güler ら 2002； D'Egidio ら 1993； Zweifel ら 2003）、乾燥温度とグルテンの性質がスパゲティの品質に与える影響について報告（Cubadda ら 2007）等もある。本論文の緒論においても、乾燥温度を70℃以上に高めると蛋白質の変性により、ゆで時の溶け出しが低減し、ロースト（焙煎）香が付与され、食感がハード化することを記述している。さらに、押し出し機のダイスの材質がパスタの品質に大きく影響することもよく知られており、テフロン製のダイスを使用して作られたパスタは表面がなめらかで、ブロンズ製のダイスを使用して作られたパスタは表面

が粗くなる。

官能特性を明らかにする最も直接的かつ効果的な方法は官能評価であるが、これまで、精密かつ網羅的なパスタの官能評価の報告はなかった。前述の先行研究においても、官能評価が行われているものの、それぞれの研究目的に応じた限定的なものにとどまっていた。しかし、総合的なパスタの官能特性の標準的な記述法が確立されていれば、パスタの製品が開発される際においても、仕入れ担当者や消費者が製品を選択する際においても、食い違いの少ないコミュニケーションが図られ、より客観的で正確な情報交換が可能となると考えられる。

客観的な官能評価のためには、対象試料の官能特性の描写用語を選定し、定義づけることが重要である。この際に、官能評価用語体系 (sensory lexicon) が確立されており、それを参照することができれば、より正確で効率的な官能評価を実施できる。Lawless と Civile (2013) も、官能評価用語体系が公開されることで官能評価の標準化が進むと、その重要性を指摘している。そこで近年、醤油 (Imamura 2016)、調味醤油 (Pujchakarn ら 2016)、コーヒー (Chambers ら 2016)、ヤギのチーズ (Talavera と Chambers 2016)、中国の伝統食品である sufu (Chen と Chung 2016)、カシューナッツ (Griffin ら 2017) の例のように、製品ごとの評価用語体系がいくつか構築され、公開されている。しかし、これらの用語体系は、主として風味や香りの用語を対象としており、テクスチャー特性を含んだ用語体系は、トマト (Hongsoongnern と Chambers 2008)、桃 (Belisle ら 2017)、カシューナッツ (Griffin ら 2017) があるものの、研究例は数少ない。これは、香りや風味の特性に対してはリファレンス (参照見本) に化合物を利用できるため用語体系を構築しやすいが、テクスチャーの特性に対してはリファレンスの設定が難しく、用語体系が構築しにくいからであると考えられる。

穀物関連の用語体系については、異なる品種の米 (Limpawattana と Shewfelt

2010) や玄米 (Bett-Garber ら 2012) の風味の評価用語体系が開発されている。パンに関しては、サワードウのパン (Lotong ら 2000)、フランスパン (Hayakawa ら 2010a)、パン (ローフ) (Elía 2011) 等の用語体系が報告され、これらの評価用語の総括を試みた報告 (Callejo 2011) もある。しかし、これまで麺やパスタの評価用語体系の報告は全くなかった。パスタの官能特性の表現に関しては、「硬さ」「麺線相互の付着」「成分の溶出」の3語が ISO7304-1 (2014) と ISO7304-2 (2008) に定義されているにすぎず、多様な観点からパスタの官能特性を示すには不十分であると考えられる。また、パスタの麺線の水分分布は不均一であり、テクスチャーは水分分布の変化とともに加熱調理後に急激に変化するため、官能評価用語を吟味のうえ選定して官能評価を設計することは容易ではない。

そこで本章における研究では、乾燥ロングパスタ (主にスパゲティ) について、加熱調理後の評価時の品温や経過時間を厳密に設定することでテクスチャーの急激な変化による影響を最小限に抑えて、定義とリファレンスを付した官能評価用語体系を構築することを目的とした。また、用語体系は国際的な活用も想定し、日本語版だけでなく英語版も作成した。さらに、構築した官能評価用語体系が実際の評価で機能することを確認するために、用語体系を活用した官能評価を試行した。

## 2. 試料および方法

### 2. 1 パネリスト

本研究は、農研機構食品研究部門の倫理委員会により承認を受けて実施した。

パネルは、複数の会社や研究機関に募集をかけ、応募した 15 人の候補者からスパゲティ製品の識別能力および描写能力によって選抜した 7 名 (男性 3 名、女性 4 名) で構成した。選抜されたパネリストは、乾燥パスタの定性的あるいは

は定量的な官能評価に関する 5-25 年の経験を有しており、さらに、60 時間以上の小麦粉製品の記述的な官能評価に従事した経験を有していた。用語体系の構築を開始するにあたって、方針説明と訓練のための 1 時間のセッションを 2 回実施した。評価用語の抽出と選定のための官能評価および討議にはパネリスト全員が参加し、用語体系を用いた官能評価の試行には 7 名中 6 名のパネリストが参加した。

## 2. 2 試料

さまざまな国で生産された乾燥パスタ 112 試料を収集した (Table 3-1)。試料は、原産国の地元のスーパーマーケットあるいは首都圏のスーパーマーケットから購入、インターネットを通じた購入、あるいは、食品の展示会でメーカーからの直接入手によって収集した。本研究で対象とするパスタは、スパゲティ ( $\phi 1.6\text{--}2.2\text{ mm}$ ) またはスパゲティーニ ( $\phi$  約  $1.5\text{ mm}$ ) とし、デュラム小麦のセモリナ 100 % で作られたものとした。全粒粉で作られたパスタは対象外とした。全ての試料の断面は円形であった。試料はそれぞれ 300 g 以上入手し、製造後室温での保管 3 年未満のものを用いた。

用語体系の構築を効率的に進めるために、パネルの討議により、加熱調理後の官能特性の類似性にしがって試料を Table 3-2 に示したような 4 グループに大別した (Cherdchu ら 2013, Imamura 2016 : Pujchakarn ら 2016)。第一のグループは、テフロン製のダイスで押し出され高温 ( $>80^{\circ}\text{C}$ ) で乾燥されたと推定される試料で、これらの官能特性は、やや赤みがあり、表面が滑らかで、硬く焙煎臭がある傾向にあった。第二のグループは、テフロン製のダイスで押し出され中低温 ( $<80^{\circ}\text{C}$ ) で乾燥されたと推定される試料で、これらの官能特性は、表面が滑らかで、やや硬い傾向にあった。第三のグループは、ブロンズ製のダイスで押し出され中高温 ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) で乾燥されたと推定される試料で、これら

の官能特性は、表面がややざらついて、小麦の風味があり、やや硬い傾向にあった。第四のグループは、ブロンズ製のダイスで押し出され低温 (<50℃) で乾燥されたと推定される試料で、これらの官能特性は表面がざらついて、小麦の風味が強く、やや粘性がある傾向にあった。次に、各グループから代表試料を選抜した。広範囲の官能特性を網羅するよう、合計 50 試料を選抜した。選抜においては、各国の製品が少なくとも 1 試料は含まれるように選抜し、その時点で各グループから少なくとも 1 試料は選抜されていることを確認した後、残りの試料は国や分類に関係なく無作為に選抜した。

構築した用語体系が機能することを確認するために、用語体系を用いた官能評価を試行した。官能評価の試行に用いる試料として、さまざまな官能特性が偏りなく評価されるよう、各グループからイタリア製の試料を 2 点ずつ選抜した。試料をイタリア製としたのは、同一原産国で試料が全グループに含まれるのはイタリア製のみであったためである。これらの 8 試料については、理化学的分析により特徴を把握した (Table 3-3)。乾燥パスタの直径は、無作為に選んだ 10 本の麺線の中央部をダイヤル式の厚み計 (Peacock Model G, Tokyo, Japan) で測定した。乾燥パスタの表面色は、分光光度計 CM-5 (Konica Minolta, Tokyo, Japan) により 3 連で測定した色差値、すなわち CIE 値 L\*、a\*、b\* で表した。L\* は黒から白を 0-100 として、a\* は値が大きいほど赤みが強く、b\* は値が大きいほど黄色みが強いことを示す。各乾燥パスタの表面粗さは、レーザー顕微鏡 (VK-8700, Keyence, Osaka, Japan) を用いて測定した Rz 値 (10 点の凹凸の高さ) により評価した (JIS B 0601:1994)。また、乾燥パスタは粉砕機 (Blender, Model MX1200XTBUJ, Waring Products, Calhoun, Georgia, USA) により 0.5 mm のメッシュを通過するように粉砕し、水分、粗蛋白質、灰分を、それぞれ AACC International Approved Methods の 44-19.01、46-30.01、08-01.01 にしたがって定量した。蛋白質量は、窒素量に係数 5.7 をかけて算出した。蛋白質の酢酸可溶性は、Orth と

O'Brien (1976) の手法を以下のように改良して測定した。パスタの粉碎物 0.5 g (乾物換算) を 50 ml の 0.05 mol/L 酢酸に 1 時間懸濁して、5,000×g で 20 分間室温で遠心した。酢酸可溶性蛋白質の割合 (PSR) は次のように計算した。

$$\text{PSR}(\%) = (0.05 \text{ N 酢酸に溶解する蛋白質量}(\text{g}) / \text{総蛋白質量}(\text{g})) \times 100$$

官能評価用のパスタ試料は 100 g を計量して、パッケージに表記されている推奨ゆで時間にしたいがい、水道水 (硬度 65–70 mg/L) 2000 ml の中でゆでた。ゆで水中に食塩は加えなかった。パスタが軟化したらすぐに箸でかき混ぜ、ゆで加熱中に折れないように沸騰水中に沈めた。推奨ゆで時間が範囲で表記されている場合には (例: 9-12 分)、その中間の時間でゆでた。また、推奨ゆで時間の表記がない場合には、試料の太さから推測してゆで時間を設定した。たとえば、直径 1.6、1.7、1.8mm のパスタの試料はそれぞれ 7、8、9 分ゆでることとした。推奨ゆで時間が経過したら直ちに水を切り、ゆで歩留まり (WI) を測定し、パネリストに提供した。ゆで歩留まり (WI) はパスタがゆでられて吸収した水分量を示す指標で、次のような式で計算される。

$$\text{WI (ゆで歩留まり)} (\%) =$$

$$[\text{ゆで後のパスタの重量 (g)} / \text{ゆでる前の乾燥パスタの重量 (g)}] \times 100$$

パネリストに提供する際の試料の温度はおよそ 70-80°C であり、評価の際には 50°C 以上であるようにした。また、評価はゆで後 5-10 分に行った。

以上の試料の調製方法は、用語体系構築と評価の試行の両方に適用した。

Table 3-1. Dried long pasta (spaghetti) samples collected for this study sorted based on the country of production

Country of origin	All collected samples	50 selected samples	Samples for trial evaluation
Australia	1	1	
Belgium	2	2	
Canada	3	3	
Egypt	2	1	
France	1	1	
Germany	2	1	
Greece	2	1	
Italy	55	24	8
Japan	10	3	
Malaysia	1	1	
Mexico	5	1	
Netherlands	1	1	
Spain	1	1	
Tunisia	5	3	
Turkey	16	3	
UAE	2	2	
USA	3	1	
total	112	50	8

Table 3-2. Dried long pasta (spaghetti) samples collected for this study sorted into groups according to their sensory properties

Group	Sensory properties	Estimated production condition		All collected samples	50 selected samples	Samples for trial evaluation
		die material	drying temperature			
1	reddish, roasted aroma, firm with smooth surface	Teflon	high (>80°C)	19	9	2
2	slightly firm, with smooth surface	Teflon	medium or low (<80°C)	61	25	2
3	slightly rough surface, wheat flavor, slightly firm	bronze	high or medium (>50°C)	19	7	2
4	rough surface, strong wheat flavor, slightly cohesive	bronze	low (<50°C)	13	9	2
total				112	50	8

Table 3-3. Dried long pasta (spaghetti) samples for the lexicon trial evaluation and analysis data of the samples

No.	Diameter		Color		Surface
	(mm)	L*	a*	b*	roughness
	n=20	brightness	reddishness	yellowishness	n=6
1	1.70 ± 0.02 d	56.46 ± 0.52 a	6.91±0.09 f	45.10±0.21 d	20.55±0.91 a
2	1.83 ± 0.02 e	55.79 ± 0.10 a	8.08 ± 0.12 g	46.79 ± 0.04 e	23.25 ± 2.39 a
3	1.62 ± 0.02 b	58.98 ± 0.19 b	6.00 ± 0.02 e	47.21 ± 0.12 e	19.40 ± 1.44 a
4	1.68 ± 0.01 c	58.79 ± 0.24 b	4.46 ± 0.04 d	45.22 ± 0.06 d	20.91 ± 2.16 a
5	1.66 ± 0.04 c	65.30 ± 0.21 cd	3.60 ± 0.05 b	41.61 ± 0.06 c	41.26 ± 1.94 b
6	1.56 ± 0.02 a	66.44 ± 0.65 d	4.26 ± 0.09 cd	37.29 ± 0.46 b	41.64 ± 2.01 b
7	1.90 ± 0.03 f	65.03 ± 0.54 c	3.98 ± 0.05 c	35.59 ± 0.49 b	45.46 ± 2.46 b
8	1.91 ± 0.02 f	65.72 ± 0.67 cd	3.11 ± 0.02 a	32.78 ± 0.15 a	76.22 ± 9.08 c

Table 3-3. continued

No.	Moisture content (% wb) <sup>†††</sup> n=3	Ash content (%) n=3	Protein content (%) n=3	PSR <sup>†</sup> (%) n=3	Boiling time (min)	WI <sup>††</sup> (g/100 g) n=3
1	11.11 ± 0.01 d	0.77 ± 0.01 bc	11.49 ± 0.02 e	21.23 ± 0.75 b	9	232.7 ± 1.0 b
2	11.02 ± 0.06 d	0.81 ± 0.01 d	10.88 ± 0.01 d	16.69 ± 0.58 a	7	204.1 ± 2.6 a
3	10.35 ± 0.07 b	0.80 ± 0.01 cd	11.82 ± 0.00 f	29.34 ± 0.40 d	7	225.8 ± 3.3 b
4	11.90 ± 0.05 f	0.75 ± 0.00 b	9.62 ± 0.03 b	38.23 ± 0.25 e	8	232.1 ± 1.0 b
5	11.68 ± 0.11 e	0.76 ± 0.02 bc	12.01 ± 0.03 h	36.29 ± 0.10 e	9	242.2 ± 0.9 c
6	11.03 ± 0.04 d	0.79 ± 0.02 bcd	9.03 ± 0.01 a	25.46 ± 0.27 c	8	244.0 ± 0.3 c
7	10.59 ± 0.04 c	0.65 ± 0.02 a	10.83 ± 0.02 c	48.43 ± 0.59 f	7	210.2 ± 1.6 a
8	9.75 ± 0.04 a	0.82 ± 0.01 d	11.90 ± 0.01 g	41.84 ± 0.94 e	7	207.9 ± 6.9 a

<sup>†</sup> Protein soluble ratio for 0.05 N acetic acid solution.

$$\text{PSR (\%)} = (\text{soluble protein for 0.05 N acetic acid (g)} / \text{total protein content (g)}) \times 100$$

<sup>††</sup> Weight increase of 100 g dry pasta after boiling.

$$\text{WI (\%)} = (\text{weight of boiled pasta (g)} / \text{weight of dry pasta before boiling (g)}) \times 100$$

<sup>†††</sup> % on wet basis.

$$\text{Moisture content (\% wb)} = (\text{loss of moisture after being dried for 2 h at 135}^\circ\text{C (g)} / \text{weight of pasta sample (g)}) \times 100$$

Values are means ± SD. Different (superscript) letters indicate significant differences at  $p < 0.05$ .

## 2. 3 用語体系の構築

試料数が多く、かつ、評価中の試料の経時変化が急激であるため、50 試料を単独で提示し、各パネリストが個別に各パスタ試料の描写用語を書き出した。パネリストは各セッションで 6-8 試料を評価した。各試料の評価は 5 分以内で終わるよう指示した。パネリストは各試料の評価の後に 1 分間の休憩を取った。室温は 22-25 °C とした。

全ての描写用語を集計し、以下のパネルの討議によって用語を整理した。まず、2 時間の討議で、抽象的な表現の用語を削除し、極度に類似した表現を統合した。その後、2 回にわたる 2 時間の討議により、類義語や対義語を明確化して、重複を削除した。さらに、複合的な意味をもつ用語は、単一の意味の用語に分解した (Lawless と Civile 2013)。用語リストについてパネルが合意に達した後、26 回にわたる 2 時間の討議を行い、各描写用語を定義づけ、それぞれに対してリファレンスを設定した。官能評価の尺度には、対象試料によらず適用できる尺度 (universal scale) と、対象試料群に特化した尺度 (product-specific scale) があるが (Muñoz と Civile 1998 ; Arroyo と Seo 2017)、本研究では、試料間の微細な差異を検出するために、対象試料群に特化した尺度を適用し、各リファレンスの強度を設定した。各リファレンスの強度の表示は、今後の評価において種々の尺度 (例 15 点尺度、10 点尺度、VAS 尺度等) へ適用できるよう、満点 (フルスケール) に対するパーセントとした。現存するパスタの喫食時における最高のレベルを 100%、最低のレベルを 0%として、各評価用語のリファレンスの強度を設定した。以上の討議では、パネリストは必要に応じて試料のおい嗅ぎや試食を行った。

続いて、今後の評価を設計する際に、各官能特性がどの程度出現するかについての情報を得るために官能評価を行った。各官能特性が 50 試料に検知される

かどうかを確認し、合議制で、0（検知されない）か1（検知される）の尺度でデータを得た。なお、以上の全ての討議は、室温 22-25 °C で行った。

用語体系は、日本語版を構築したのちにこれを翻訳することにより英語版も作成した。

## 2. 4 用語体系の有用性確認のための官能評価の試行

用語体系を利用した官能評価を試行し、各描写用語が適切であるか、用語体系が官能評価に有効に機能するかについて確認した。6名のパネリストが4回の90分のセッションに従事した。評価の前の訓練として、パネリストは予備的に2回の評価を行った。

試料は単独提示とし、3桁のランダムコードを付した白色の小皿に盛り付けてパネリストに供した。パネリストは1.0点刻みの0-10の線尺度上で各試料の特性を評価した。パネリストには、試料が変わるたびに市販の飲用水で口をすすぐよう指示した。評価は、室温 22-25°C で、各パネリストがそれぞれ別のテーブルで行った。評価は2回繰り返した。

## 2. 5 統計解析

各試料の官能評価値には、分散分析（analysis of variance ; ANOVA）と主成分分析（Principal component analysis ; PCA）を適用した。乾燥パスタ試料の分析値に対しては、統計的な有意差を  $p < 0.05$  と定義して Tukey's honest significant differences (HSD) test を行った。解析には SPSS Statistics (version 22; IBM, Armonk, NY, USA) を用いた。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 用語体系の構築

50 のパスタ試料を用いてパネリストが書き出した描写用語を集計し、296 語のリストを得た。これらの描写用語について、パネルの討議によって不要な用語を削除した。たとえば、「きれいな色 (fine color derived from high-grade flour)」や「かすかな異臭 (a faint off-odor)」のような用語は、専門家が使う定性的もしくは抽象的な用語として削除した。また、「太い」や「細い」といった麺線の太さに関係する特性は本研究の対象外として削除した。なぜなら、太さはダイスの孔の直径により決まるものであり、太さを直接の評価対象とするよりも、太さに起因して生じるパスタのテクスチャーを評価対象とした方が官能特性としては有効であると考えたからである。その後、極度に類似した描写用語を統合し、重複しているものを削除した。たとえば、「ざらざら (rough)」は「ざらつく (rough)」と区別することが難しいため、リストから削除した。以上の用語整理によって、第二次リストとして 90 語 (外観 17 語、香り・風味 36 語、テクスチャー 37 語) を得た (Table 3-4)。

さらに討議を行って、類義語や対義語をグループ化し、各グループの中の代表的な用語を、主に官能評価のしやすさにもとづいて選定した。たとえば「赤みのある (reddish)」と「茶色い (brown)」はパスタの品質においては概ね同じ特性を描写した類義語とみなされるが、「赤みのある (reddish)」の方がより明確であるため、「茶色い (brown)」を削除した。また、パスタの官能評価においては、「くすんだ色 (dull)」と「明るい色 (bright)」は対義語であり一本の評価軸で評価できることから、どちらか一つに統合することができると考えた。そこで「くすんだ色 (dull)」の方が業界では一般的であり評価しやすいことから、「明るい色 (bright)」を削除した。最終的な用語リストは、Table 3-4 に示すように 35 語であった。最後に、パネルは、代表試料とした 50 試料以外の 62 試料のパスタについても実際に評価して、用語の追加がないことを確認した。

各描写用語に対して、パネルの討議により定義づけを行い、リファレンスを設定した。討議の過程で、「アルデンテ (al dente)」は、「該当／非該当」を判定する定性的な特性で、「強い／弱い」を評価する定量的な特性ではないとの合意に達した。「アルデンテ」はイタリア語の al dente (歯に当たる) を起源とし、日本語でも外来語として定着し、パスタのテクスチャーを描写する際によく使われている。第1章と第2章においても、「アルデンテ」は「顕著な低水分部分が中心部に小さな円状に残った状態である」と述べている。そこで、この用語を「適度に歯に当たる芯による心地よい食感」と定義し、「ごく細い芯がわずかに糊化せずに残っている状態」との補足説明も加えて、強度の評定をしない定性的な表現という位置づけにした。また、「じゃりじゃりした感じ (Grittiness)」と「薄片 (flakes)」も定性的な表現という位置づけにした。この2語は、製造中に偶発的に製品に混入したごく微量の土砂あるいはふすまの薄片を描写するもので、「検知／非検知」でしか評価できないと考えられたからである。これら3語については、用語体系には定性的な表現として記載することとした。

各用語が表す特性が50試料それぞれに検知されるかどうか確認して、出現頻度を求めた (Table 3-5)。26特性は約半数 (46%以上) の試料において検知され、このうち18特性は90%以上の試料において検知された。この26特性 (用語) をパスタの品質評価における一般的な描写用語と位置づけた。一方、残りの9特性は、検知された試料が50試料のうち7試料以下 (15%未満) であった (「雑味 (astringent)」「ふすまのにおい (bran)」「シナモンのようなにおい (cinnamon)」「カルキのにおい (chlorine)」「コーンのにおい (corn)」「刺激的なにおい (pungent)」「ゴムのような感じ (rubberiness)」「じゃりじゃりした感じ (grittiness)」「薄片 (flakes)」)。これら9語は、ある特定の成分や製造条件に特有の官能特性を説明する特殊描写用語として分類することにした。たとえば、「シナモンのようなにおい (cinnamon)」は、裏作に緑肥としてスイートクローバーが育てられる土地

で栽培された小麦粉を原料とするパスタから検知される特性である。これらの特殊用語は、多くのパスタの官能評価において除外される可能性が高いが、ある特異的な特徴を評価対象とする場合には、重要な用語として機能すると考えられる。

用語体系は日本語で構築したのちに英語版を作成し、最終形を Table 3-6 に示した。各描写用語は名詞の形で記し、定義とリファレンスを記載した。先行研究による用語体系の例では、テクスチャーのリファレンスに市販の食品が用いられることが多かった (Hongsoongnern と Chambers 2008 ; Belisle ら 2017 ; Griffin ら 2017)。しかし、パスタの品質評価においては、詳細なテクスチャー評価が特に重要だと考え、本研究では、テクスチャーの特性に対するリファレンスが精確なものとなるよう留意した。そのため、リファレンスには市販品をそのまま利用するのではなく、使用する製品や原料を限定し、調製条件も具体的に記すことにした。

35 語で構成される最終的な用語体系は、外観 5 語、香り・風味 11 語、テクスチャー 19 語から成るものであるが、外観特性および香り・風味特性では、描写用語を類似性からさらに分類し、テクスチャーでは摂食段階の観点から分類して、階層構造を明確化し、キャラクターホイールを作成した (Fig. 3-1)。

用語の総数やカテゴリーごとの用語数は、用語体系構築の目的だけでなく対象製品によって変わる。たとえば、コーヒーは、多岐にわたる種類の香りや風味があるため、コーヒーの用語体系は 127 語からなり、そのうち 61 語が香りや風味で 23 語が味・風味であった (Hayakawa ら 2010b)。Chambers ら (2016) が構築したコーヒーの風味に関する用語体系においても 110 語もあった。栽培品種や熟度の異なるマンゴーを評価するための用語体系は 20 個の風味特性と 11 個のテクスチャー特性から構成されていた (Suwonsichon ら 2012)。これは、マンゴーの官能特性の範囲がコーヒーよりも狭いことを反映していると考えられる。

また、風味の用語数とテクスチャーの用語数は、それぞれのカテゴリーの官能特性の変動幅や重要性を反映していると考えられる。ブラッドソーセージの用語体系は 14 語の構成で、外観に 4 語、においに 3 語、風味に 3 語、テクスチャーに 4 語である (Pereira ら 2015)。このことから、ブラッドソーセージの官能特性の変動幅がコーヒーと比較して小さいこと、ブラッドソーセージの品質においては 4 つ全てのカテゴリーが均等に重要であるということが推察される。本研究において選抜したパスタの官能特性を表現するために必要な用語の総数は 35 に集約されており、コーヒーと比較した場合、さほど多くはなく、パスタの官能特性の変動幅がコーヒー等の嗜好品ほど多彩ではないことを考慮すると、用語数としては妥当であると考えられる。またこの用語体系において、テクスチャーを表現する用語の割合が最も高いことは、これまで認識されてきたようにテクスチャーがパスタの主要な官能特性であることを反映していると考えられる。

Table 3-4 Consolidation from the second list to the final list

Appearance	
Second list	Final list
黄色い Yellow 白っぽい Whitish	黄色 Yellow
赤みのある Reddish 茶色 Brown オレンジ色 Orange	赤み Reddishness
明るい Bright くすみがある Dull 灰色 Grey 青みがかった Bluish	くすみ Dullness
斑点がある Speckled	斑点 Speckledness
なめらかな Smooth つやがある Glossy 透明感がある Clear みずみずしい Glossy with wet surface ざらつきがある Rough 乾いた感じ Dry はりがある No shrinkage	なめらかさ Smoothness

Aroma/flavor	
Second list	Final list
小麦粉のにおい Wheat flour (aroma) 小麦のにおい Wheat (aroma)	小麦のにおい Wheat (aroma)
酸化臭 Oxidized (smell) 酸化臭 Oxidized (flavor) 古いにおい Old crops (smell)	古い穀物のにおい Deteriorated grain

古いにおい Old crops (flavor)  
鳥のエサのにおい Bird feed (smell)  
穀物のにおい Granary (smell)  
穀物の風味 Grainy (flavor)

小麦粉の風味 Wheat flour (flavor)  
小麦のにおい Wheat (flavor)  
うま味 Umami  
甘味 Sweet taste

甘い風味 Sweet (flavor)  
甘いにおい Sweet (aroma)

香ばしいにおい Toasted (aroma)  
焦げたにおい Dark roasted (aroma)  
焙煎臭 Roasted (aroma)  
香ばしい風味 Toasted (flavor)  
焦げた風味 Dark roasted (flavor)  
焙煎臭 Roasted (flavor)

刺激的なにおい Pungent

カルキのにおい Chlorine

コーンのにおい Corn (aroma)

シナモンのにおい Cinnamon (aroma)  
シナモンの風味 Cinnamon (flavor)

ふすまのにおい Bran (aroma)  
ふすまの風味 Bran (flavor)

えぐみ Acrid  
雑味 Astringent  
渋味 Mouth-puckering  
草のようないにおい Grassy  
草のようないにおい Straw-mat (aroma)

小麦のうま味 Wheat (flavor)

甘いにおい Sweet aroma

焙煎臭 Roasted aroma

刺激的なにおい Pungent

カルキのにおい Chlorine

コーンのにおい Corn

シナモンのようなにおい Cinnamon

ふすまのにおい Bran

雑味 Astringent

醤油のようなにおい	Soy sauce (aroma)	「焙煎臭」と「小麦のにおい」と「甘いにおい」に分割
		Separated into “roasted aroma”, “wheat aroma” and “sweet aroma”
スナック菓子の香味	Corn snacks (flavor)	「焙煎臭」と「古い穀物のにおい」に分割
油揚げのような香り	Deep-fried bean curd (flavor)	Separated into “roasted aroma” and “deteriorated grain”

Texture

Second list

Final list

ざらつく Rough

ざらつき Roughness

なめらかな Smooth

しなやか Flexible

しなやかさ Flexibility

表面が硬い Surface being firm

表面の硬さ Surface firmness

表面が軟らかい Surface being soft

弾力がある Elastic

弾力 Elasticity

ふりふりした Resilient

もろい Fragile

もろさ Fragility

芯がもろい Core being crumbly

ぼそぼそした

Perceived retrogradation (dry and crumbly)

硬い Firm

硬さ Firmness

ゴリゴリした Hard to chew

やわらかい Soft

歯切れがよい Cutting off slashingly

歯切れのよさ Slashingly cutting off

ふつつつした Breaking off lightly

ふつつつした感じ Lightly breaking off

密 Dense

ぽきぽきした Porous  
パリパリした Light  
ボキボキした Snappy breaking off

こしがある Core being tough  
しこしこした Core being chewy  
しまった食感 Tight

粘性がある Cohesive  
もちもちした Rice cake-like (cohesive and chewy)

くちやつく Limp

歯に付く Adhesive to teeth

粉っぽい Powdery

表面がべたつく Bulky  
付着している Pasta strands adhere to each other

歯応えがある Chewy

アルデンテ Al dente  
芯がコリコリした Thin core being firm  
芯が太い Core being perceptible

ゴムのような Rubbery

じやりじやりした Gritty

ふすまの食感 Bran  
薄片 Flakes

こし Core toughness

粘性 Cohesiveness

くちやつき Limpness

歯に付く感じ Adhesiveness to teeth

粉っぽさ Powderiness

表面のべたつき Bulkiness

歯応え Chewiness

アルデンテ Al dente

ゴムのような感じ Rubberiness

じやりじやりした感じ Grittiness

薄片 Flakes

Table 3-5 Frequency of attributes in 50 dried pasta (spaghetti) samples

Category	Attribute	Number of detected samples	Ratio
Appearance	黄色 Yellow	50	1.000
Appearance	なめらかさ Smoothness	50	1.000
Aroma/flavor	小麦のにおい Wheat (aroma)	50	1.000
Aroma/flavor	小麦のうまみ Wheat (flavor)	50	1.000
Texture	表面の硬さ Surface firmness	50	1.000
Texture	弾力 Elasticity	50	1.000
Texture	もろさ Fragileness	50	1.000
Texture	かたさ Firmness	50	1.000
Texture	歯切れのよさ Slashingly cutting off	50	1.000
Texture	ふつぶつした感じ Lightly breaking off	50	1.000
Texture	こし Core toughness	50	1.000
Texture	粘性 Cohesiveness	50	1.000
Texture	歯応え Chewiness	50	1.000
Aroma/flavor	甘いにおい Sweet aroma	49	0.980
Texture	しなやかさ Flexibleness	49	0.980
Texture	粉っぽさ Powderiness	48	0.960
Texture	アルデンテ Al dente	47	0.940
Appearance	斑点 Speckledness	46	0.920
Appearance	くすみ Dullness	38	0.760
Aroma/flavor	焙煎臭 Roasted aroma	38	0.760
Aroma/flavor	古い穀物のにおい Deteriorated grain	35	0.700
Texture	表面のべたつき Bulkiness	35	0.700
Texture	歯に付く感じ Adhesiveness to teeth	33	0.660
Texture	くちやつき Limpness	31	0.620
Appearance	赤み Reddishness	26	0.520
Texture	ざらつき Roughness	23	0.460
Aroma/flavor	シナモンのようなにおい Cinnamon	7	0.140
Texture	ゴムのような感じ Rubberiness	4	0.080
Aroma/flavor	ふすまのにおい Bran	3	0.060
Texture	じやりじやりした感じ Grittiness	3	0.060
Aroma/flavor	刺激的なにおい Pungent	2	0.040
Texture	薄片 Flakes	2	0.040

Aroma/flavor	コーンのおい	Corn	1	0.020
Aroma/flavor	雑味	Astringent	1	0.020
Aroma/flavor	カルキのおい	Chlorine	1	0.020

---

Each sample was assessed for the presence of each attribute.

The double line separates the general and specific attributes.

Table 3-6 乾燥ロングパスタ（スパゲティ）の評価用語と定義

用語	定義	評価のしかた	リファレンス（参照見本）
外観			
黄色 Yellow	黄色い。	ゆで終わって5-10分後に評価する。	70% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの 0% = 強力一等粉（例 日清製粉製「ミリオン」）で作成したパスタをボイルしたもの
赤み Reddishness	赤い感じがある。	ゆで終わって5-10分後に評価する。	80% = 一般的なパスタ（例 マ・マースパゲティφ1.6mm）をポリ袋に入れ乾熱庫で85°C24時間加熱してからボイルしたもの 0% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの
くすみ Dullness	鮮やかさに欠ける。	ゆで終わって5-10分後に評価する。	100% = 強力二等粉（例 日清製粉製「オーション」）の生パスタを製麺後室温で24時間放置してからボイルしたもの 0% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの
斑点 Speckledness	ふすま片や胚芽片由来の褐色もしくは黒色の微細な粒子が見られる。	ゆで終わって5-10分後に評価する。	50% = 色彩選別していない、茶色や黒色の斑点のあるパスタをボイルしたもの 0% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの
なめらかさ Smoothness	つやがあり、みずみずしく、表面がなめらかでつるつるしている。	ゆで終わって5-10分後に評価する。	100% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイル後に水でしめたもの 10% = ブロンズダイスで製麺したパスタをオーバーボイルしたもの（例 ディチェコ#11表示9分を15分ボイル）
香り／風味			
小麦のにおい Wheat (aroma)	小麦特有の香り。	ゆでた後ににおいを嗅いで評価する。	100% = デュラム小麦のセモリナ（例 日清製粉製「レオーネ」）に水を加えて練り（セモリナ：水=1:1.5）、電子レンジで温める。

古い穀物のおい Deteriorated grain	古い穀物から感じられる劣化臭。	ゆでた後においを嗅いで評価する。	100% = はとむぎ（はくばく製「雑穀クッキングクラブ はと麦」）に熱水を混ぜたもの（はと麦：水=1:1）
小麦のうまみ Wheat (flavor)	小麦特有の風味・あまみ・うまみ。	ゆでた後に食べて評価する。	80% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの
甘いにおい Sweet aroma	でんぷん系食品に特有の甘いにおい。	ゆで終わって5分後ににおいを嗅いで評価する。	80% = デュラム小麦の中心部（灰分0.57%）から作られたパスタ（例 マ・マープレミアムブレンドスパゲティφ1.7mm）をボイルしたもの
焙煎臭 Roasted aroma	高温乾燥によって生じる焙煎臭。	ゆで終わって5分後ににおいを嗅いで評価する。	80% = 一般的なパスタ（例 マ・マースパゲティφ1.6mm）をポリ袋に入れ乾熱庫で85°C18時間加熱してからボイルしたもの
刺激的なおい* Pungent*	鼻の奥をつんと刺すようなにおい。	ゆでた直後ににおいを嗅いで評価する。	100% = 中温あるいは低温乾燥（80°C以下）のパスタ（例 ディチェコ#11）を粉碎し、熱湯を注いだ直後に生じるツンとしたにおい
カルキのおい* Chlorine*	カルキのおい。	ゆでた直後ににおいを嗅いで評価する。	100% = 2.5 ppm 次亜塩素酸ナトリウム水溶液
コーンのおい* Corn*	ゆでたとうもろこしを思わせるにおい。	ゆでた直後ににおいを嗅いで評価する。	100% = トウモロコシ（生鮮品）を5分ゆでたもの。
シナモンのようなにおい* Cinnamon*	シナモン、桜餅、スイートクローバーを思わせるにおい。	ゆでた後においを嗅いで評価する。	100% = スイートクローバーのハーブティ
ふすまのおい* Bran*	ふすまを思わせるにおい。	ゆで終わって5分後ににおいを嗅いで評価する。	100% = 細引きの全粒粉（例 日清製粉製「スーパーファインハード」）に水を加えて（粉：水=1:1）ペースト状に練る。
雑味* Astringent*	えぐ味、苦味、渋味など、全体に調和しきれない微かな味の総称。	ゆで終わって5分後に食べて評価する。	100% = 朝食用全粒粉シリアル（例 ケロッグ「オールブランオリジナル」）。雑味が強すぎる場合は、クラッカーやコーンフレークを混ぜて叩き潰す。
テクスチャー			
ざらつき Roughness	表面に粗さがある状態。	麺線3本を口に入れ、舌を動かして評価する。	80% = ブロンズダイスで製麺したパスタをアンダーボイルして（例 ディチェコ#11表示9分を8分ボイル）、油（2%）をまぶし、ラップをかけて一夜冷蔵保存後、電子レンジ加熱したもの 10% = 一般的なパスタをボイルしたもの（例 マ・マースパゲティφ1.6mm表示7分）

しなやかさ Flexibility	口の中で噛む前に感じられるしななって戻る感じ。	麺線3本を口に入れ、舌と口蓋で圧縮と解除を5-6回繰り返す。	90% = 超高温乾燥の Pasta (例 バリラ φ1.7mm 表示 9分) をボイルしたもの 0% = 中温乾燥 (80°C以下) をアンダーボイルしたもの (例 ディチェコ#11 表示 9分を 4分ボイル)
表面の硬さ Surface firmness	奥歯でわずかに変形させたときにかかる力の大きさ。	麺線3本を奥歯で軽く変形させて評価する。	90% = 一般的な Pasta (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm) をポリ袋に入れ乾熱庫で 85°C 24時間加熱してからボイルしたもの 10% = 一般的な Pasta をオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分を 15分ボイル)
弾力 Elasticity	奥歯で噛みはじめるときにかかる力と、破断する前に圧縮を解除したときの回復力。	麺線3本を奥歯で軽く圧縮し、その後、力を解除する。	90% = 一般的な Pasta (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分) を 4時間以上水浸漬後に 3分ボイルし、水道水で冷やしたもの 10% = 一般的な Pasta をオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分を 15分ボイル)
もろさ Fragility	少しの力で簡単に崩れていく様子。	麺線3本を奥歯で圧縮する。	100% = 一般的な Pasta (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分) をボイルし、油 (2%) をまぶし、ラップをかけて一夜冷蔵保存したもの 10% = 一般的な Pasta をボイルしたものの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分)
かたさ Firmness	奥歯で噛みつぶすのに必要な力の大きさ。	麺線3本を奥歯で噛みつぶす。	80% = 超高温乾燥の Pasta をアンダーボイルしたもの (例 バリラ φ1.7mm 表示 9分を 5分ボイル) 10% = 一般的な Pasta をオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分を 15分ボイル)
歯切れのよさ Slashingly cutting off	切れ始めるまでは力がかかるが、切れ始めるとスパッと切れる様子。	麺線3本を奥歯で噛む。	70% = Pasta をオーバーボイルしたものの (例 バリラ φ1.7mm 表示 9分を 13分ボイル) を水道水で冷やしたもの 10% = 生 Pasta (デュラム小麦のセモリナ 100g+水 30g を混合後、φ1.9mm テフロンダイスで押し出し) を 3.5分ボイルし、ラップをかけて 20-40分放置。
ぷつぶつした感じ Lightly breaking off	空気感があり、軽い食感。ぷつと切れる感じ。	麺線3本を奥歯で噛む。	60% = 中温乾燥 (80°C以下) のフェデリニをアンダーボイルしたもの (例 ディチェコ#10 表示 6分を 4分ボイル) 10% = 一般的な Pasta をボイルしたものの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分)
こし Core toughness	噛みはじめに必要な力が小さく、麺の中心部を噛み潰すのに力がかかる状態。	麺線3本を奥歯で噛む。	90% = 生 Pasta (デュラム小麦のセモリナ 100g+水 30g を混合後、φ1.75mm テフロンダイスで押し出し) を 2分ボイルしたもの 10% = 一般的な Pasta をオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分を 15分ボイル)

粘性 Cohesiveness	噛みはじめに必要な力は小さいが、噛み切るまでの変形が大きく、かつ、噛み切るときに大きな力がかかる状態。	麺線 3 本を奥歯で噛む。	100% = 生パスタ (デュラム小麦のセモリナ 100g+水 30g を混合後、φ1.9mm テフロンダイスで押し出し) を 3.5 分ボイルしたもの。 30% = 一般的なパスタをボイルしたものの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分)
くちやつき Limpness	変形しやすく、やわらかい。歯に付かないが、歯切れが悪い。	麺線 3 本を咀嚼する。	50% = 低温乾燥 (50℃以下) のパスタをオーバーボイルしたもの (例 セタロ φ1.6mm 表示 7-8 分を 13 分ボイル) 10% = 一般的なパスタをオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分を 10 分ボイル)
歯に付く感じ Adhesiveness to teeth	咀嚼している間に、奥歯に付着する感じ。	麺線 3 本を咀嚼する。	80% = 一般的なパスタ (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分) を水に浸けて電子レンジ加熱したもの (スパゲティ 30g に水 200g、600W、6.5 分) 10% = 一般的なパスタをオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分を 10 分ボイル) を氷水で冷やし、油 (2%) をまぶしてラップをかけて 2-3 時間室温放置
粉っぽさ Powderiness	生の小麦粉が芯に残っているような感じ	麺線 3 本を咀嚼する。	70% = 太めのスパゲティをアンダーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.8 mm 表示 11 分を 7 分ボイル) を 10 分放置 10% = 一般的なパスタをオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分を 15 分ボイル)
表面のべたつき Bulkiness	麺線相互の付着性が強い様子。	麺線 3 本を咀嚼する。	90% = ブロンズダイで製麺した低温乾燥 (50℃以下) のパスタをオーバーボイル (例 セタロ φ1.6mm 表示 7-8 分を 13 分ボイル) 10% = 高温乾燥したパスタをボイルしたもの (例 バリラ φ1.7mm 表示 9 分)
歯応え Chewiness	試料を 10 回噛むのに必要な力の総量	麺線 3 本を 10 回咀嚼する。	80% = 一般的なパスタ (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分) を 4 時間以上水浸漬後に 3 分ボイルし、水道水で冷やしたもの 10% = 一般的なパスタをオーバーボイルしたもの (例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7 分を 15 分ボイル)
アルデンテ Al dente	適度に歯に当たる芯による心地よい食感。ごく細い芯がわずかに糊化せずに残っている状態。(定性的表現)	麺線 3 本を咀嚼する。	

ゴムのような感じ* Rubberiness*	粘性が強すぎて噛み切りにくい様子。	麺線 3 本を咀嚼する。	90% = 一般的なパスタをオーバーボイルしたもの(例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分を 8分ボイル)を水道水で冷やし、電子レンジ加熱(例 スパゲティ 100g で 1500W, 1.5分) 10% = 一般的なパスタをボイルしたもの(例 マ・マースパゲティ φ1.6 mm 表示 7分)
じゃりじゃりした感じ* Grittiness*	小さな砂粒が歯に当たる感じ。	麺線 3 本を咀嚼し、嚥下直後に評価する。	
薄片* Flakes*	小さな薄片が口に残る感じ。	麺線 3 本を咀嚼し、嚥下直後に評価する。	

\*特殊用語

リファレンスのパーセント表示は、満点に対しての用語の強度を表す。

Table 3-6 (continued) Dried long pasta (spaghetti) attributes and definitions

Attribute	Definition	Technique	Reference
Appearance			
Yellow	Yellow.	Evaluate the sample 5–10 min after boiling.	70% = boiled pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm); 0% = boiled pasta made from high-grade bread wheat flour (e.g. “Million”, Nisshin Flour Milling Inc.).
Reddishness	Reddishness.	Evaluate the sample 5–10 min after boiling.	80% = boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm) heated to 85°C for 24 h in a thermostat-controlled oven before boiling; 0% = boiled pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm).
Dullness	Lacking brightness.	Evaluate the sample 5–10 min after boiling.	100% = boiled fresh pasta made of normal-grade bread wheat flour (e.g. “Ocean”, Nisshin Flour Milling Inc.), kept for 24 h at room temperature; 0% = boiled pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm).
Speckledness	Brown or black specs originating from bran or germ.	Evaluate the sample 5–10 min after boiling.	50% = boiled pasta with brown or black spots, which were observed in products without color sorting; 0% = boiled pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm).
Smoothness	Glossy, watery and smooth surface.	Evaluate the sample 5–10 min after boiling.	100% = boiled pasta made from the durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm), cooled in water just after boiling; 10% = over-boiled pasta extruded through a bronze die (e.g. “De Cecco” #11 boiled for 15 min).
Aroma/Flavor			
Wheat (aroma)	Aroma associated with wheat flour.	Sniff the sample after boiling.	100% = mixture of durum semolina (e.g. “Leone”, Nisshin Flour Milling Inc.) and water (1:1.5), heated with a microwave oven.
Deteriorated grain	Odor associated with deterioration of stored grain.	Sniff the sample after boiling.	100% = mixture of adlay (e.g. “Cereals cooking club adlay”, Hakubaku Co., Ltd.) and hot water (1:1).
Wheat (flavor)	Flavor associated with wheat flour.	Taste the sample after boiling.	80% = pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm).

Sweet aroma	Sweet aroma unique to starchy food.	Sniff the sample 5 min after boiling.	80% = pasta made from durum wheat grain core (Ash content 0.57%) (e.g. “MA·MA Premium Blend” spaghetti $\phi$ 1.7 mm).
Roasted aroma	Roasted aroma, which is perceived in pasta dried at a high temperature.	Sniff the sample 5 min after boiling.	80% = pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm) heated at 85°C for 18 h in a thermostat-controlled oven before boiling.
Pungent*	Sharp, strong odor.	Sniff the sample just after boiling.	100% = sharp odor emitted just after pouring hot water on the pulverized pasta dried at a medium or a low temperature, i.e. <80°C (e.g. “De Cecco” #11 spaghettini).
Chlorine*	Odor of chlorine.	Sniff the sample just after boiling.	100% = 2.5 ppm sodium hypochlorite.
Corn*	Aroma associated with boiled corn.	Sniff the sample just after boiling.	100% = boiled fresh corn.
Cinnamon*	Aroma associated with cinnamon or sweet clover.	Sniff the sample after boiling.	100% = herbal tea (sweet clover).
Bran*	Aroma associated with bran.	Sniff the sample 5 min after boiling.	100% = mixture of finely milled whole-wheat flour (e.g. “Super fine hard”, Nisshin Flour Milling Inc.) and water (1:1).
Astringent*	Complex combination of roughness in flavor, such as astringency, bitterness and harshness.	Taste the sample 5 min after boiling.	100% = breakfast cereal made of whole wheat (e.g. All-Bran®, Kellogg’s®). Crush with crackers or cornflakes as needed.
Texture			
Roughness	Surface roughness.	Place three pasta strands in the mouth and move the tongue.	80% = under-boiled pasta extruded through a bronze die (e.g. “De Cecco” #11 recommended cooking time 9 min, boiled for 8 min), coated with oil (2%), kept overnight in refrigerator, heated with microwave oven; 10% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min).
Flexibility	Capable of being bent and returning elastically to original nest structure of pasta strands in the oral cavity.	Compress three pasta strands 5–6 times between the palate and tongue.	90% = boiled pasta dried at ultra-high temperature for recommended time (e.g. “Barilla” spaghetti $\phi$ 1.7 mm, recommended cooking time 9 min); 0% = under-boiled pasta dried at medium temperature, i.e. <80°C (e.g. “De Cecco” #11 recommended cooking time 9 min, boiled for 4 min).
Surface firmness	Resistance to slight deformation with the molars.	Deform three pasta strands between molars slightly.	90% = pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm) heated at 85°C for 24 h in a thermostat-controlled oven before boiling; 10% = over-boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).

Elasticity	Resistance and resilience to deformation with the molars.	Compress three pasta strands between the molars partially and remove the force.	90% = boiled pasta (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm) for 3 min, cooled in tap water, after being soaked in water for over 4 h; 10% = over-boiled pasta (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).
Fragileness	Easily breakable texture.	Compress three pasta strands between the molars.	100% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min), coated with oil (2%), kept overnight in refrigerator; 10% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min).
Firmness	Force required to bite down on pasta strands between the molars.	Bite down on three pasta strands between the molars.	80% = under-boiled pasta, dried at high temperature (e.g. "Barilla" spaghetti $\phi$ 1.7 mm, recommended cooking time 9 min, boiled for 5 min); 10% = over-boiled pasta (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).
Slashing cutting off	Being cut off sharply and easily after cracking, even though some effort is required to crack the pasta strands.	Bite down on three pasta strands between the molars.	70% = over-boiled pasta (e.g. "Barilla" spaghetti $\phi$ 1.7 mm, recommended cooking time 9 min, boiled for 13 min), cooled in tap water; 10% = fresh pasta made of durum semolina, extruded through Teflon dies ( $\phi$ 1.9 mm), boiled for 3.5 min, kept for 20–40 min after boiling.
Lightly breaking off	Porous and light texture. Little effort is required to break off the pasta strands.	Bite down on three pasta strands between the molars.	60% = under-boiled Fedelini dried at medium temperature, i.e. <80°C (e.g. "De Cecco" #10 recommended cooking time 6 min, boiled for 4 min); 10% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min).
Core toughness	Resistance of the core of the pasta strands to being bitten with the molars.	Bite down on three pasta strands between the molars.	90% = fresh pasta made of durum semolina (e.g. "Leone", Nisshin Flour Milling Inc.), extruded through Teflon dies ( $\phi$ 1.75 mm), boiled for 2 min; 10% = over-boiled pasta (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).
Cohesiveness	Force necessary to bite down is high and strain is large at breaking, even though the force necessary to deform is low.	Bite down on three pasta strands between the molars.	100% = fresh pasta made of durum semolina (e.g. "Leone", Nisshin Flour Milling Inc.), extruded through Teflon dies ( $\phi$ 1.9 mm), boiled for 3.5 min; 30% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. "MA·MA" spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min).

Limpness	Deformable, tender and non-adhesive texture. Non-crisply cutting off.	Masticate three pasta strands.	50% = over-boiled pasta dried at a low temperature, i.e. <50°C (e.g. “Setaro” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7–8 min, boiled for 13 min); 10% = over-boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 10 min), cooled in chilled water, coated with oil (2%), kept for 3 h.
Adhesiveness to teeth	Adhering to the molars during mastication.	Masticate three pasta strands.	80% = cooked pasta in microwave oven (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm 30 g and water 200 g, 600 W, 6.5 min); 10% = pasta coated with oil (2%), kept for a few hours at room temperature, after being over-boiled (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 10 min) and cooled in chilled water.
Powderiness	Feeling of uncooked raw flour	Masticate three pasta strands.	70% = under-boiled thick spaghetti (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.8 mm, recommended cooking time 11 min, boiled for 7 min), kept for 10 min; 10% = over-boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).
Bulkiness	Pasta strands adhering to each other.	Masticate three pasta strands.	90% = over-boiled pasta extruded through a bronze die and dried at a low temperature, i.e. <50°C (e.g. “Setaro” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7–8 min, boiled for 13 min); 10% = boiled pasta dried at high temperature (e.g. “Barilla” spaghetti $\phi$ 1.7 mm, recommended cooking time 9 min).
Chewiness	Force required to masticate the pasta strands 10 times with the molars.	Masticate three pasta strands 10 times.	80% = boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm) for 3 min, cooled in tap water, after being soaked in water for over 4 h; 10% = over-boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 15 min).
Al dente	Pleasant texture caused by slight resistance to the teeth. Thin core of boiled pasta remains slightly uncooked and dehydrated. (qualitative)	Masticate three pasta strands.	
Rubberiness*	Rubbery texture. Difficult to chew.	Masticate three pasta strands.	90% = over-boiled pasta (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min, boiled for 8 min), cooled in tap water, heated with microwave oven (e.g. 1500 W 1.5 min for spaghetti 100 g); 10% = ordinary pasta boiled for recommended time (e.g. “MA·MA” spaghetti $\phi$ 1.6 mm, recommended cooking time 7 min).
Grittiness*	Feeling of some sand grains between the teeth.	Masticate three pasta strands and evaluate just after swallowing.	

Flakes\*

Residual feeling of small flakes.

Masticate three pasta strands and evaluate just after swallowing.

---

\*specific term

Percentage of full scale for reference products/materials indicates the intensity of the attributes.

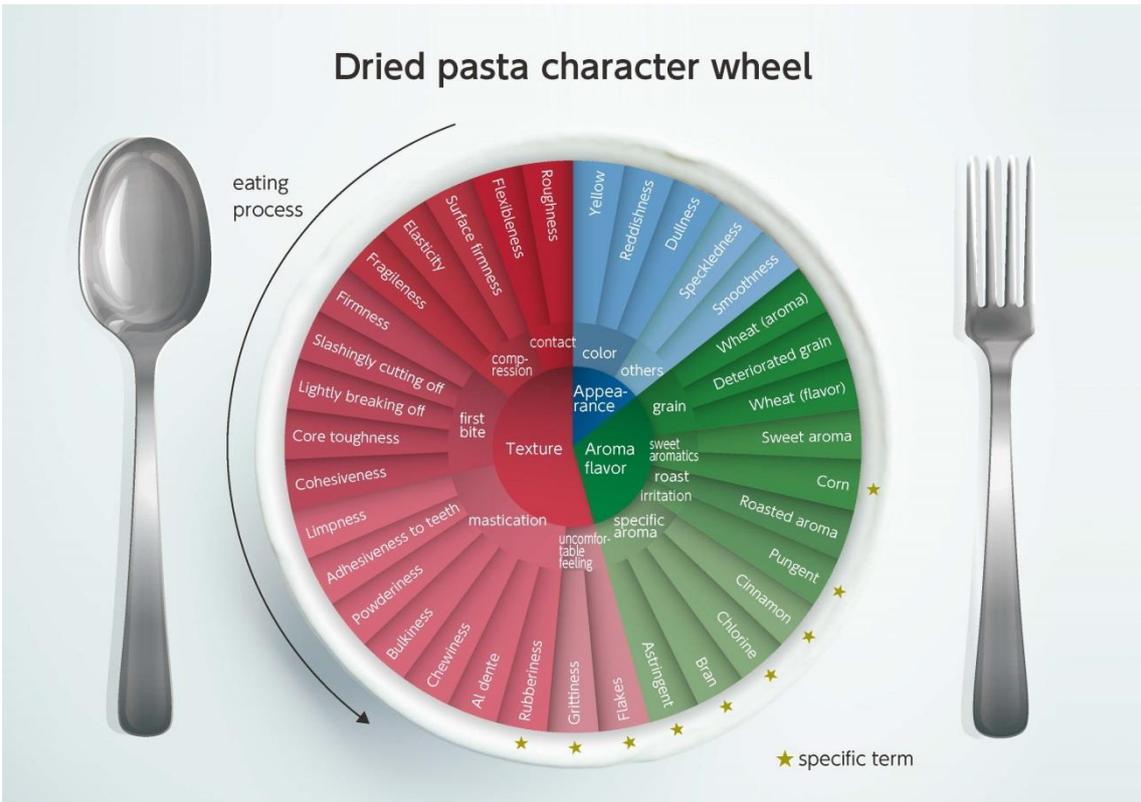
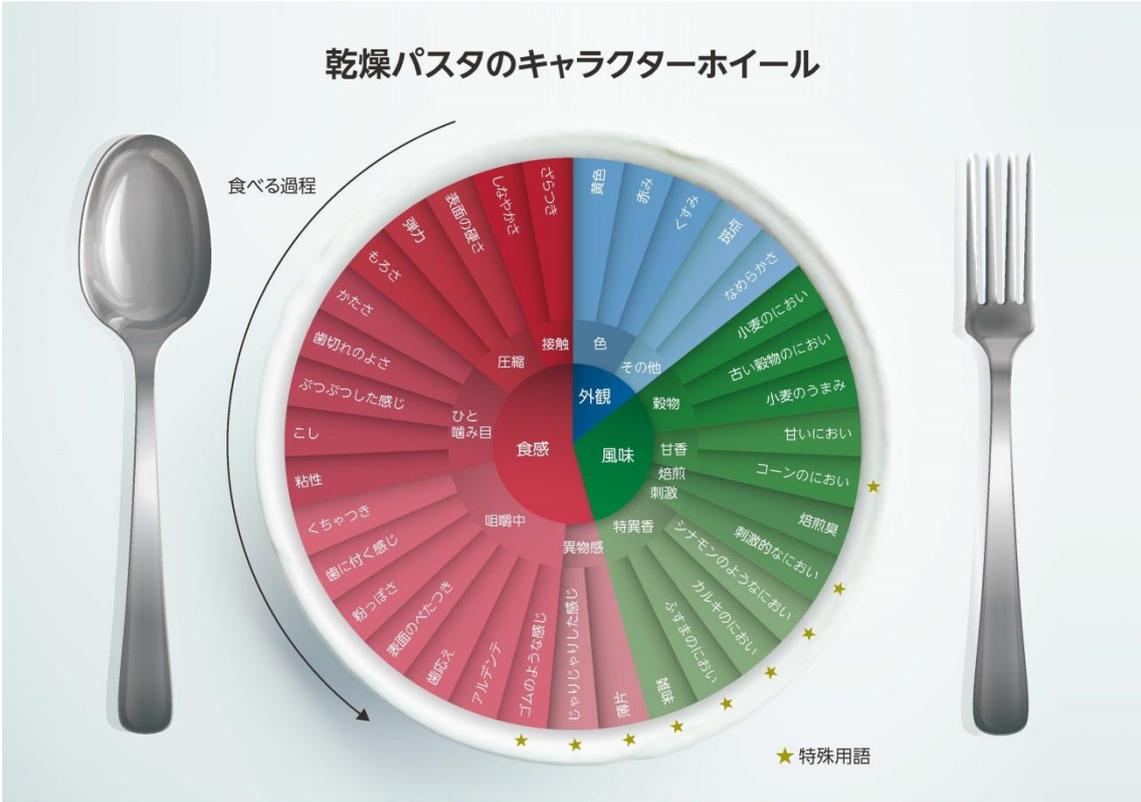


Fig. 3-1 Dried pasta character wheel.

### 3. 2 用語体系の有用性確認のための官能評価の試行

定性的表現および特殊用語を除いた 25 項目の一般用語を用いて、イタリア製の pasta 8 試料について官能評価を試行し、得られたデータを、外観、香り・風味、テクスチャーに分けて PCA を適用した。

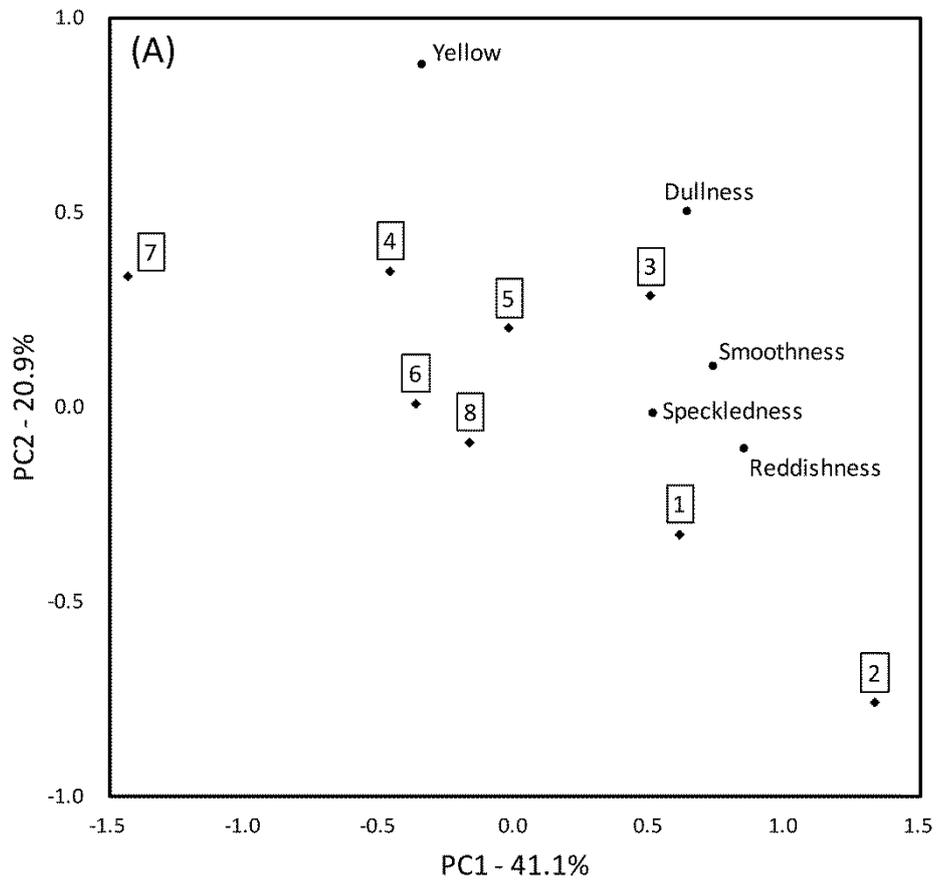
外観特性についての結果を Fig. 3-2 (A) に示した。結果から各試料の外観の特徴が読み取れる。たとえば、試料 1、2 は「赤み (reddishness)」の近くに布置されており、これらは Table 3-3 に示した通り  $a^*$  値が高いことから、妥当な結果であった。

香り・風味についての結果を Fig. 3-2 (B) に示した。PC1 は、「小麦のにおい (wheat (aroma))」「小麦の風味 (wheat (flavor))」「甘いにおい (sweet aroma)」が正の方向に、「焙煎臭 (roasted aroma)」や「古い穀物のにおい (deteriorated grain)」が負の方向に配置されていることから、小麦由来の純粋な風味を反映する軸と解釈できる。一般に、乾燥温度が高いと pasta の色が濃くなり、加熱調理後の pasta の硬さが増加し、焙煎臭が付与される。また、乾燥温度が高くなると、pasta の蛋白質が変性して酢酸溶液への可溶性が低下する (Zweifel ら 2003) ので、粗蛋白質のうちの酢酸に溶解する蛋白質の割合である PSR が pasta の乾燥温度の高さの指標として利用されている。試料 4、7、8 の PSR は高いことから (Table 3-3)、乾燥温度が低いと推測できる。これらの試料は、Fig. 3-2 (B) では、「小麦のにおい (wheat (aroma))」「小麦の風味 (wheat (flavor))」「甘いにおい (sweet aroma)」の近くに配置されており、小麦本来の香りや風味を有していることが読み取れる。反対に、PSR が低く比較的高い温度で乾燥されたと推測される試料 1、2、3、6 は PC1 の負の方向に配置されており、小麦本来の風味ではなく、高温により付与された「焙煎臭 (roasted aroma)」が特徴的であると考えられる。また、試料 5 は「古い穀物のにおい (deteriorated grain)」が強く、小麦本来の風味が強く感じられなかったと考えられる。また、PC2 は、突出し

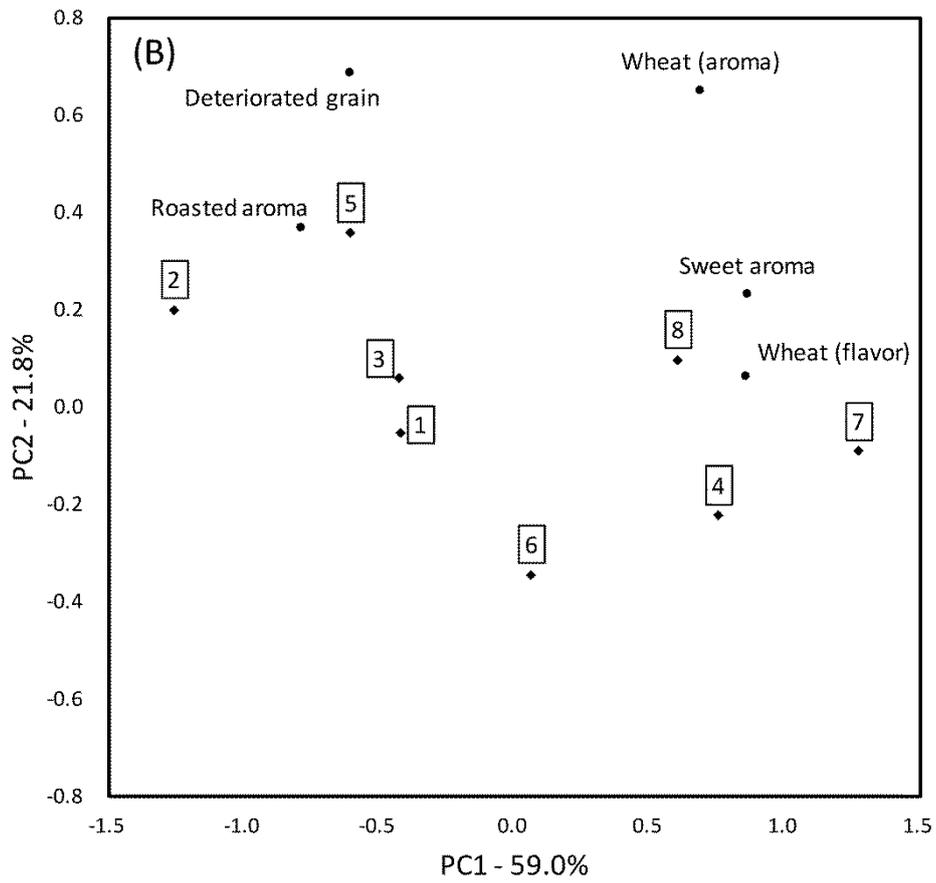
た特徴的な香り・風味を示す軸であると解釈した。PC2 は試料の配置の範囲も狭く、寄与率も小さいので、明確なことは言えないが、「小麦のにおい (Wheat (aroma))」や「古い穀物のにおい (Deteriorated grain)」、「焙煎臭 (Roasted aroma)」が高いことから、PC2 の配置から「突出した特徴的な香り・風味」が強い試料が把握できるのではないかと推察する。

テクスチャーについての結果を Fig. 3-2 (C) に示した。PC1 は、乾麺自体の構造の強度に由来する硬さの軸と解釈される。弾力が強く硬い試料は PC1 の正の方向に、粘性があり軟らかい試料は PC1 の負の方向に配置される傾向にあった。また、PC2 は主にパスタのゆで調理時の吸水に起因する軟化度を示す軸と解釈される。WI は茹で歩留まりを示し (Table 3-3)、この値が高くなるほどゆで加熱時の吸水による軟化が進んでいることを表す。WI がもっとも高く、軟化が進んでいると推測される試料 6 の PC2 の値は低く、反対に WI が低い試料 2、7、8 は硬く、PC2 の値は高かった。

以上のように、8 試料の官能評価結果は、理化学的測定結果と合わせると、おおよそ合理的な解釈が可能であった。したがって、本研究により構築した用語体系に含まれる描写用語は、これらのさまざまな試料間の官能特性の違いを表現するのに有効に機能すると考えられる。

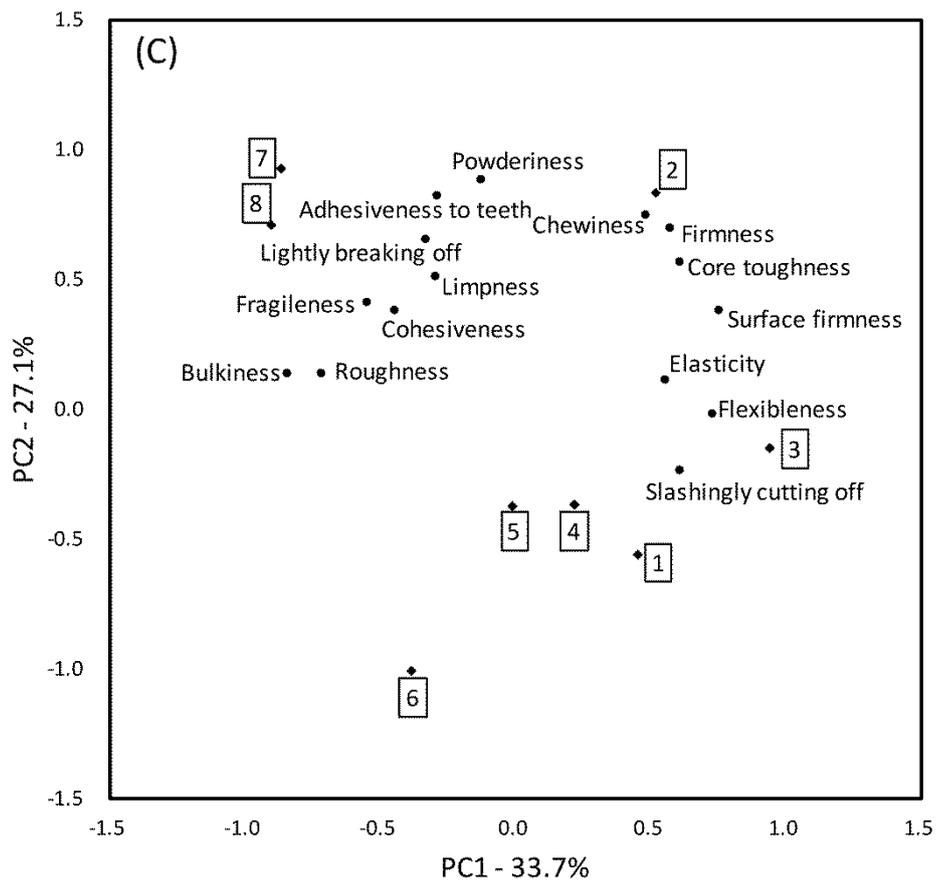


**Fig. 3-2** Principal component analysis (PCA) of sensory attributes of pasta (A): PCA for appearance.



**Fig. 3-2** (continued) Principal component analysis (PCA) of sensory attributes of pasta

(B): PCA for aroma/flavor.



**Fig. 3-2** (continued) Principal component analysis (PCA) of sensory attributes of pasta (C): PCA for texture.

Factor loadings of 25 general pasta descriptors and principal component scores of the eight pasta samples are plotted. Numbers within boxes indicate the samples for the lexicon trial evaluation (see Table 3-3).

#### 4. 総括

乾燥ロングパスタの官能特性を特徴づけるための 35 用語（外観 5 語、香り・風味 11 語、テクスチャー 19 語）で構成される用語体系を構築した。35 語について定義づけを行い、定性的な特性である「アルデンテ (al dente)」とパスタ製造中のアクシデントに起因する特性（「じゅりじゅりした感じ (grittiness)」「薄片 (flakes)」）を除く 32 語についてはリファレンスの設定も行った。さらに、用語体系の 35 語から特殊用語を除いた 25 語を評価項目として、特徴の異なる 8 種のパスタを試料とし、定義とリファレンスに従った官能評価を試行した。その結果、試料間の官能特性の違いを的確に識別できることが示された。

本研究により構築された用語体系では各用語について定義とリファレンスが付されているので、会社内の部署間、会社間、また国と国の間での、評価の描写用語の共通理解を容易にすると期待される。また、この用語体系に基づいて、正確かつ客観的な評価を行えば、さまざまなロングパスタの品質における微細な差異を明確に描写できるようになると考えられ、研究者、製造者、小売業者、仕入れ担当者などがノウハウを共有・継承できるようになり、品質管理の強化や、高品質の新製品の開発にもつながる。さらに、流通や販売における製品の説明も明確化するため、仕入れ担当者や消費者が製品を選ぶ際にも有益である。

## 引用文献

AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 44-19.01. Moisture---Air-oven method, drying at 135°, Approved November 3, 1999. Method 46-30.01. Crude protein---Combustion method. Approved November 3, 1999. Method 08-01.01. Ash---Basic method. Approved November 3, 1999. Available online only. AACC International: St. Paul, MN.

Arroyo, S. E. J., and Seo, H. S. (2017). Effects of the type of reference scale on descriptive sensory analysis of cooked rice: Universal aromatic scale versus rice aromatic scale. *J. Sensory Stud.*, **32**, e12295.

Belisle, C., Adhikari, K., Chavez, D., and Phan, U.T.X. (2017). Development of a lexicon for flavor and texture of fresh peach cultivars. *J. Sensory Stud.*, **32**, e12276.

Bett-Garber, K.L., Lea, J.M., Champagne E.T., and Mcclung, A.M. (2012). Whole-grain rice flavor associated with assorted bran colors. *J. Sensory Stud.*, **27**, 78-86.

Callejo, M.J. (2011). Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *J. Sensory Stud.*, **26**, 255-268.

Chambers, E., IV, Sanchez, K., Phan, U. X. T., Miller, R., Civille, G. V., and Donfrancesco, B. D. (2016). Development of a “living” lexicon for descriptive sensory analysis of brewed coffee. *J. Sensory Stud.*, **31**, 465-480.

Cherdchu, P., Chambers, E., IV and Suwonsichon, T. (2013). Sensory lexicon development using trained panelists in Thailand and the U.S.A.: soy sauce. *J. Sensory Stud.*, **28**, 248-255.

Chen, Y.P., and Chung, H.Y. (2016). Development of a lexicon for commercial plain sufu (fermented soybean curd). *J. Sensory Stud.*, **31**, 22-33.

Cubadda, R.E., Carcea, M., Marconi, E., and Trivisonno, M.C. (2007). Influence of gluten proteins and drying temperature on the cooking quality of durum wheat pasta. *Cereal Chem.*, **84**, 48-55.

D'Egidio, M.G., Mariani, B.M., Nardi, S., and Novaro, P. (1993). Viscoelastograph measures and total organic matter test: Suitability in evaluating textural characteristics of cooked pasta. *Cereal Chem.*, **70**, 67-72.

D'Egidio, M.G., and Nardi, S. (1996). Textural measurement of cooked spaghetti. In "Pasta and Noodle Technology," ed. by J. E. Kruger, R. B. Matsuo, and J. W. Dick, American Association Cereal Chemists International, MN., pp 133-156.

Elía, M. (2011). A procedure for sensory evaluation of bread: Protocol developed by a trained panel. *J. Sensory Stud.*, **26**, 269-277.

Feillet, P., and Dexter, J.E. (1996). Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In "Pasta and Noodle Technology," ed. by J. E. Kruger, R. B. Matsuo, and J. W. Dick, American Association Cereal Chemists International, MN.,

pp 95-131.

Griffin, L. E., Dean, L. L., and Drake, M. A. (2017). The development of a lexicon for cashew nuts. *J. Sensory Stud.*, **32**, e12244.

Güler, S., Köksel, H., and Ng, P.K.W. (2002). Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. *Food Res. Int.*, **35**, 421-427.

Hayakawa, F., Ukai, N., Nishida, J., Kazami, Y., and Kohyama, K. (2010a). Lexicon for the sensory description of French bread in Japan. *J. Sensory Stud.*, **25**, 76-93.

Hayakawa, F., Kazami, Y., Wakayama, H., Oboshi, R., Tanaka, H., Maeda, G., Hoshino, C., Iwawaki, H., and Miyabayashi, T. (2010b). Sensory lexicon of brewed coffee for Japanese consumers, untrained coffee professionals and trained coffee testers. *J. Sensory Stud.*, **25**, 917-939.

Hongsoongnern, P., and Chambers, E., IV. (2008). A lexicon for texture and flavor characteristics of fresh and processed tomatoes. *J. Sensory Stud.*, **23**, 583-599.

Imamura, M. (2016). Descriptive terminology for the sensory evaluation of soy sauce. *J. Sensory Stud.*, **31**, 393-407.

ISO 7304-1. (2014). Durum wheat semolina and alimentary pasta — Assessment of cooking quality of alimentary pasta by sensory analysis — Part 1: Reference method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 7304-2. (2008). Alimentary pasta produced from durum wheat semolina — Estimation of cooking quality by sensory analysis — Part 2: Routine method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Lawless, L.J.R., and Civille, G.V. (2013). Developing lexicons: A review. *J. Sensory Stud.*, **28**, 270-281.

Limpawattana, M., and Shewfelt, R.L. (2010). Flavor lexicon for sensory descriptive profiling of different rice types. *J. Food Sci.*, **75**, S199-205.

Lotong, V., Chambers, E. IV., and Chambers, D.H. (2000). Determination of the sensory attributes of wheat sourdough bread. *J. Sensory Stud.*, **15**, 309-326.

Muñoz, A. M., and Civille, G. V. (1998). Universal, product and attribute specific scaling and the development of common lexicons in descriptive analysis. *J. Sensory Stud.*, **13**, 57-75.

Orth, R. A., and O'Brien, L. (1976). A new biochemical test of dough strength of wheat flour. *The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, **42**, 122-124.

Pereira, J.A., Dionísio, L., Matos, T.J.S., and Patarata, L. (2015). Sensory lexicon development for a Portuguese cooked blood sausage – Morcela de Arroz de Monchique – to predict its usefulness for a geographical certification. *J. Sensory Stud.*, **30**, 56-67.

Pujchakarn, T., Suwonsichon, S., and Suwonsichon, T. (2016). Development of a sensory lexicon for a specific subcategory of soy sauce: Seasoning soy sauce. *J. Sensory Stud.*, **31**, 443-452.

Suwonsichon, S., Chambers, E., IV, Kongpensook, V., and Oupadissakoon, C. (2012). Sensory lexicon for mango as affected by cultivars and stages of ripeness. *J. Sensory Stud.*, **27**, 148-160.

Talavera, M., and Chambers, D. H. (2016). Flavor lexicon and characteristics of artisan goat cheese from the United States. *J. Sensory Stud.*, **31**, 492-506.

Zweifel, C., Handschin, S., Escher, F., and Conde-Petit, B. (2003). Influence of high-temperature drying on structural and textural properties of durum wheat pasta. *Cereal Chem.*, **80**, 159-167.

## 結論

日本だけでなく世界中でパスタの産業や文化が発展を遂げてきている。この中では、パスタの品質をこれまで以上に的確にかつわかりやすく表現することが求められている。しかしながらパスタはサイズが小さく、水分分布が不均一で変化しやすく、従来は物性や水分分布等の品質の解析が困難であった。また、これまでパスタの品質を官能的に記述する用語体系も整備されていなかったため、パスタ産業関係者の間での品質に関する円滑なコミュニケーションも困難であった。

そこで本研究では、パスタの分析評価技術を発展させて詳細かつわかりやすくパスタの品質を評価できるようにすることを目的に、加熱調理済みのスパゲティおよび早ゆでのスパゲティについて、MRIによる水分分布のデータを物性測定データと関連づけることにより、食感を可視化して評価することを試みた。また、パスタの品質を具体的な言葉で詳細に客観的に評価できるようにすることを目的に、パスタの官能評価用語の体系の開発を行った。こうして、実際のパスタの品質評価に必要とされる、物理化学的分析による手法と官能評価による手法の両方を、ともに進歩させることに取り組んだ。

第1章では、日本で販売されている各種形態の調理スパゲティ製品について、MRIによる水分分布のデータを物性測定データと関係づけて品質に関する考察を行った。各種の調理スパゲティ、すなわち生スパゲティ、乾燥スパゲティ、冷凍スパゲティ、惣菜調理スパゲティ、ロングライフ（LL）スパゲティの加熱試料をMRIにより非破壊で分析し、得られた $T_2$ 画像から、粉碎したデュラムセモリナの標準糊化試料の水分量とMRIにおける $T_2$ 値との相関に基づき、水分分布画像を算出した。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティを調理した試料において

は、表面から中心部に向かって水分勾配が存在し、中心部にアルデンテ状態を示す明瞭な低水分部分が存在した。他の種類のスパゲティについては、中心部の水分量はより高く、特に LL スパゲティ試料の水分分布はほぼ均一であった。乾燥スパゲティと冷凍スパゲティの物性を測定したところ、他の種類のスパゲティと比較して、力-距離曲線において中心部の低水分部分に相当する領域において高い力が認められ、いわゆる「アルデンテ」の状態を検出することができた。惣菜調理スパゲティと LL スパゲティにおいては、中心部の水分の多さに起因した軟らかくて脆い物性を示す、低い破断力と破断ピークのあとの大きな力の落ち込みが見られた。これらの実験結果から、水分分布データは物性を反映し、水分分布データから調理スパゲティの品質の評価が可能であることが示された。

第 2 章では、麺線に沿って溝をつけた、2 種の異なる早ゆでスパゲティ、すなわち V 字型の溝が 1 本ついたスパゲティ（ゆで上がり時間 4 分）、および風車型に 3 本の溝がついたスパゲティ（ゆで上がり時間 3 分）と通常の丸型の 1.6 mm 径のスパゲティ（ゆで上がり時間 7 分）について、ゆで工程における水分分布の変化を MRI により比較し、得られたデータをもとに早ゆでスパゲティについてはせん断方向を変えて物性測定を行い、通常の丸型のスパゲティとの比較を行った。そして溝をつけた早ゆでスパゲティが短いゆで時間でありながらなぜ消費者に受け入れられる食感になっているのかを考察した。

ゆで後の水分含量は、通常の丸型のスパゲティの 63 g/100 g に比べて、2 種の早ゆでスパゲティは 58-59 g/100 g とより低かった。ゆで過程中的  $T_2$  画像の変化から、早ゆでスパゲティでは、溝の存在により通常のスパゲティよりゆで水が早く中心部に浸透し、中心部の糊化が促進されることが示された。また、溝の先端周辺の領域が特に急速に吸水して膨潤した結果、溝が閉じて外形が通常の

スパゲティのように丸型になることが示された。ゆで上げ後の通常の丸型のスパゲティの水分分布が同心円状となったのに対し、2種の早ゆでスパゲティの水分分布は同心円状にはならず、物性曲線も同心円状でない水分分布を反映して、せん断する方向により変化した。ゆでた通常の丸型のスパゲティの物性曲線からは、表層の高水分領域は厚さがあまりないため、食感には大きな影響を与えないことが示された。本研究に用いた2種類の早ゆでスパゲティは、中心部の低水分領域が円形ではないもののはっきりとその存在が認められることでしっかりとした歯ごたえをもたらし、表層の高水分領域が少ないことで総水分量が低い、それは物性に大きな影響をもたらさない、ゆで時間が短くても消費者に受け入れられる食感に仕上がっていると考えられた。

第3章では、従来曖昧であった、パスタの官能評価に使用される用語について、より明確な官能評価を行えるように整備・体系化を行った。世界各国から100%デュラムセモリナで作製した直径1.6-2.2 mmの乾燥スパゲティおよび直径約1.5 mmのスパゲティーニ、合計112試料を入手し、ゆで後の官能特性の類似性にしがって4つのグループに分類した。高度な経験を有し訓練されたパネルがその中から代表として選抜した50個のゆでパスタ試料の官能評価を行って、パスタを表現する用語出しを行った。出された用語はパネルの討議により整理統合し、最終的に35語（外観5語、香り／風味11語、食感19語）から構成される用語体系を得た。この各描写用語に関して、官能評価による使用頻度に基づいたパネルの討議により、26語を一般用語とし、9語を特殊用語と格付けた。また、各用語に対して詳細な定義づけと具体的なリファレンス（参照見本）の設定を行った、

さらに、各グループから選抜したイタリア製の代表試料8個について、定量的な評価が可能な一般用語を用いて試験的に官能評価を行い、得られたデータ

について主成分分析（PCA）を行い、色調や蛋白質や灰分、水分含量、ゆで歩留りなどの物理的および化学的な分析値を官能特徴と関連づけて考察した。その結果、これらの描写用語によってパスタ試料の官能品質の的確な識別ができることが示された。

このように、MRI による水分分布分析データを物性試験のデータと関連づけることにより、調理済みの各種パスタや早ゆでパスタの食感を画像データに基づいて説明することが可能となり、従来の手法では検知できなかった特性を見出すこともできた。本手法およびここで得られた知見は、新しい調理済みスパゲティや早ゆでスパゲティをはじめ各種のパスタや麺類の製品の設計や開発、普及等に活用し得るものである。

また、パスタの官能評価用語の体系を構築し、これを実際の試料評価に用いた結果、的確に試料間の品質差を識別することができた。本研究により構築された用語体系は、各用語について詳細な定義と具体的なリファレンスが付されているので、この用語体系に基づいて正確かつ客観的な評価を行えば、さまざまなロングパスタの品質における微細な差異を明確に描写できるようになると考えられ、パスタ産業の従事者にとって、ノウハウの共有や継承、品質管理、製品開発、製品を販売する際の説明等の場面において有用なものとなり得る。

このように、MRI を用いたパスタ内部の水分分布の可視化と圧縮せん断試験データを組み合わせることによって物理化学的分析を進歩させるとともに、官能評価用語体系の整備により官能評価方法を進歩させることができ、両方の側面からパスタの品質の分析評価方法を技術的に発展させることができたと考えている。本論文で得られた知見は、今後高品質なパスタ製品を開発するための有益な指針を与えるとともに、パスタ産業の発展に貢献しうるものと考えられ

る。

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、独立行政法人食品総合研究所状態分析研究室長時代から本研究のきっかけを与えていただき、日本獣医生命科学大学においては研究室に受け入れていただき、研究の進め方から投稿論文の執筆、博士論文の執筆のご指導だけでなく、研究者や人としてのあり方に至るまで終始温かくご指導賜りました吉田充教授に厚く御礼申し上げます。

本論文におけるパスタの水分分布分析に関して、測定からデータ解析から結果の考察、論文の作成に至るまで農研機構食品総合研究所堀金明美博士にご指導いただきました。厚く御礼申し上げます。

本研究の官能評価用語体系の構築に関して、官能評価からデータの解析、ディスカッション、論文投稿まで、大変長い期間にわたりお世話になり、苦楽をともにさせていただきました農研機構食品研究部門早川文代博士に心より感謝申し上げます。

農研機構食品研究部門の内藤茂弘博士、関山恭代博士、風見由香利氏、高度解析センターの小野裕嗣博士をはじめとする皆様には実験に関してご助言、ご尽力を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

日本獣医生命科学大学の知久和寛博士をはじめ食品科学科、食品安全学教室の皆様方には大学院研究生として温かく受け入れていただき、研究内容やデータ処理につきましてご相談させていただきました。厚く感謝申し上げます。

株式会社日清製粉グループ本社 **OB** の本井博文氏には、**MRI** 分析のきっかけを与えてくださり、本研究に関し多くの助言とご指導を賜りました。心より御礼申し上げます。

また、私の学位取得に関してご理解いただき、4年間にわたって温かくご支援、ご指導くださいました株式会社日清製粉グループ本社原田隆常務、福留真一博

士、宮崎俊之氏、吉田亜彦氏に心より感謝致します。

投稿論文の共著者として、実験作業へのご尽力とご助言のほか、多くの激励を賜りました日清フーズ株式会社の前田竜郎博士に厚く御礼申し上げます。また、同じく投稿論文の共著者として実験作業へのご尽力をいただきました株式会社日清製粉グループ本社、元基礎研究所の平内亨氏、河原俊雄氏に心より感謝致します。パスタの官能評価に関しては、マ・マーマカロニ株式会社研究棟の方々に多くのご助言とご尽力をいただきました。厚く感謝を申し上げます。

株式会社日清製粉グループ本社の皆様には、本論文を作成・提出するにあたり終始温かくご支援いただきました。また、本研究を進めるにあたり、多大なご協力とご支援をいただきながらここにお名前を記すことが出来なかった多くの方々に心より感謝申し上げます。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたり、いつも笑顔で明るく温かく私の仕事を理解し、応援してくれている家族、親族に深く感謝致します。

本研究は、株式会社日清製粉グループ本社の研究支援により実施されましたことを、ここに記すとともに感謝の意を表します。

平成 31 年 2 月

入江 謙太郎