

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350104

研究課題名(和文)「おいしい」食感の感性表現を破壊過程での食品属性の変化に翻訳するシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a system to translate the sensibility representation of palatable food texture to a change of food attributes in fracture process

研究代表者

中村 卓 (NAKAMURA, Takashi)

明治大学・農学部・教授

研究者番号：30328968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、「おいしい」食感の感性表現を客観的な機器を用いた食品構造の破壊過程の解析から食品属性に翻訳するシステムの開発を目的とした。

タピオカ澱粉ゲルを用いて「もちもち」食感表現を構造と物性に翻訳し、タピオカ澱粉の伸展性が寄与することを明らかにした。パスタの「モチリ/プリッ」、うどんの「つるつる」、プリン「とろ～り」のおいしい食感表現を構造と物性に翻訳した。以上の様に、咀嚼破壊の過程を (i) 知覚の意識化(官能評価)、(ii) 機器破壊による単純モデル化することで、硬・柔のレベルではない「おいしい」食感の感性表現を、知覚に対応した食品属性の変化に翻訳するシステムを確立することが出来た。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is development of the system which translates a sensitivity expression of the palatable food texture into a change of the food attributes in fracture process by some objective equipment analyses. Specifically, this research is focused on the “Mochi-mochi” texture of tapioca starch gel, “Mocchiri-Puri” texture of pasta, “Toro-ri” texture of pudding and “Tsuru-tsuru” texture of Udon noodle. The fracture properties of these foods were analyzed by a large deformation test. The fractured food structure was observed by confocal laser scanning microscopy, scanning electron microscopy and digital camera. The results of this study reveal that we can develop the translation system of the sensibility representation of palatable food texture to a change of food attributes in fracture process.

研究分野：食品構造工学

キーワード：食感 おいしさ 食品構造 破壊 力学特性 官能評価 顕微鏡観察 感性

1. 研究開始当初の背景

食感(テクスチャー)を客観的に評価するために、食感の数値化が試みられてきた。機器分析では数多くの大変形力学試験が行われてきた。特にテクスチャーアナライザーを用いて、かたさ・凝集性・付着性・粘り等々が数値化されている。しかし、これらは国際規格 ISO5492 に収載されたテクスチャー属性に相当する知覚レベルの食感表現であり、直接おいしさと結びつくものではない。そのため、機器分析だけではおいしい食感を評価できず、大変形力学試験は個別食品の品質管理に用いられているに過ぎない。

食感は咀嚼過程で食品構造を破壊する際に発現する。具体的には切歯・臼歯・舌/口蓋により食品の構造が破壊される。その咀嚼の口腔生理的分析として、人が咀嚼する時の筋電量や口腔内応力を測定している。しかし、これらの研究の多くは咀嚼過程の力の定量化であり、食品構造の破壊とおいしい食感との関連は明らかでない。

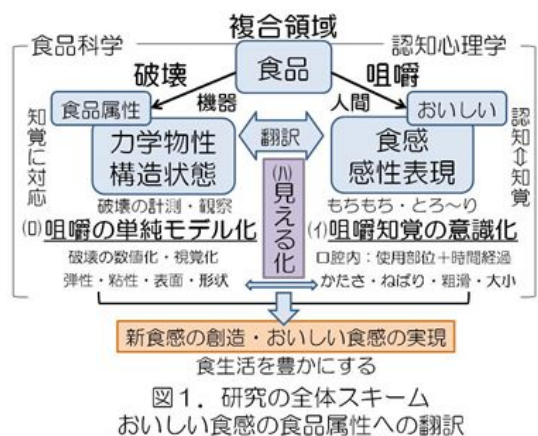
おいしい食感を表現するのに感性的な言葉であるオノマトペ(擬音語・擬態語)が用いられる。例えば、「もちもち」はおいしいを感じる言葉として広く認識されている(アンケート調査で第1位に挙げられる(おいしい感覚と言葉、シズル研究会編 2010.3.2))。しかし、おいしさを感じる食感表現と咀嚼の関係について「咀嚼過程で食品の物性や構造がどのように変化するか」の視点から解析がなされていないため、感性表現を具体的な食品構造に結びつける事が出来ない。

これら問題を解決し、「食感デザイン」による「おいしい」食品を開発するアプローチ法として、本申請者は、食品構造を制御することで食感を設計する「食品構造工学」の確立を目指している。そのためには、食品構造の破壊過程を具体的に明らかにし構造と食感との相関を解析する必要がある。現在までに、大変形力学試験の途中段階でタンパク質と多糖類の共存モデルゲルをそのまま固定し、走査型電子顕微鏡で観察する手法を用いてタンパク質と多糖類の界面から亀裂が形成することをメソスコピック(10-数 100nm)レベルで明らかにした。さらに、プリンやグミキャンディやチーズやパスタなどの実際の食品でも、大変形力学試験時の構造破壊過程を各種顕微鏡で観察した。しかし、かたい柔らかいレベルの食感の違いは説明できても、「もちもち」の様な感性的な食感表現を説明できない。そこで、感性表現と食品構造の相関を明らかにするためには、咀嚼過程を意識化した官能評価、破壊過程を数値化する機器分析、メカニズムを視覚化する構造観察を組み合わせた「見える化」された咀嚼過程の解析システムの開発が必要と考えた。

2. 研究の目的

「おいしい」食感の感性表現(もちもち等)を客観的な機器による食品構造の破壊過程

から食品属性に翻訳するシステムの開発を目的とする。咀嚼による食品の破壊過程で「かたさ・粗滑等」の変化が知覚され、それらを認知して食感のおいしさが表現される。そこで、本研究では、硬・柔のレベルではない、おいしい食感の感性表現を、知覚に対応した食品属性(力学物性・構造状態)の破壊による変化に翻訳する(図1)。具体的には、咀嚼中の口腔内の使用部位と時間経過について(ⅰ)咀嚼知覚を意識化する。咀嚼破壊の過程を機器による破壊で(ⅱ)単純モデル化し、おいしい食感を力学物性と状態構造から(ⅲ)見える化する。この様な、「おいしい」食感の感性表現を破壊過程での食品属性の変化に翻訳するシステムの開発は、新食感の創造やおいしい食感の実現のための基盤となり、食生活を豊にすることに貢献する。



3. 研究の方法

本研究は、(ⅰ)咀嚼過程の官能評価、(ⅱ)破壊の物性計測と構造観察、(ⅲ)メカニズムを踏まえた統計解析の3つの手法からなり、レオロジー・摩擦学・形態学と認知心理学を基盤とした。

表1 咀嚼部位による重要項目の差

| 咀嚼部位 | ①歯 (臼歯切歯) | ②舌/口蓋 |
|---------------------|----------------------------------|---|
| 事例:おいしい食感表現 | もちもち モチリ・プリッ | とろ～り つるつる |
| 対象:モデル系/食品 | 澱粉ゲル パスタ | プリン うどん |
| (ⅰ)咀嚼意識 知覚 | 第1咀嚼 かたさ/ねばり | 第2咀嚼以降 ねばり/粗滑/大小 |
| (ⅱ)機器破壊 力学 構造 | レオロジー・形態学 弾性・粘性 クラック 界面 | 摩擦学・形態学 粘性・付着 表面 溶解 形状 エッジ・サイズ |

第1咀嚼の使用部位の違い①歯(切歯・臼歯)、②舌/口蓋に分けて研究をすすめた。意識化する感性的な食感表現の例として①歯:「もちもち」「モチリ・プリッ」と②舌:「とろ～り」「つるつる」食感を取り上げた。対象食品として、「もちもち」は加工タピオカ澱粉のゲル、「モチリ・プリッ」は乾燥温度の異なるパスタ、「とろ～り」は市販ならびに配合の異なるプリン、「つるつる」は配合の異なるうどんを用いた。さらに、破壊方法と破壊メカニズムの解析には、①歯(臼歯切歯)を使う食品には試料よりも小さい治

具を用いる貫入破壊で、①舌/口蓋を使う食品では、試料よりも大きなサイズの平板な治具を用い試料全体を圧縮破壊した。力学特性測定には、クリープメーターREONER（山電製）、レオメーターAR-G2（TAインスツルメンツ製）、触感計Type33MJ（新東科学製・本研究費にて購入）を用いた。未破壊および破壊構造の観察には、ハイコントラスト透過型電子顕微鏡JEM-2010（日本電子製）、電界放射走査型電子顕微鏡JSM-6700F（日本電子製）、共焦点レーザ走査顕微鏡FV-1000（オリンパス製）、デジタルカメラEX-ZR（カシオ製）を用いた。

4. 研究成果

咀嚼中の口腔内の使用部位（歯/舌）と時間経過について(イ)咀嚼知覚の意識化（官能評価）、咀嚼破壊の過程を機器による破壊で(ロ)単純モデル化、おいしい食感を力学特性と構造状態から(ハ)見える化するシステムを確立することが出来た。

現在の食品産業における開発では、知覚レベルに近い食感表現（かたい・やわらかい）ではなく、おいしさを示す感性的な食感表現（もちっ・もちもち・もちり/とろっ・とろとろ・とろり・とろ～りなどの擬態語・擬音語（オノマトペ表現））の実現が求められている。本研究で得られたおいしい食感の見える化システムを使えば、効率的に開発を進めることができる。例えば、人間の咀嚼嚥下の過程から認知としての感性的な食感表現（例えばタピオカ澱粉添加食品の「もちもち」）を食品属性に対応した知覚としての食感表現（噛み始めやわらかいが噛みしめると硬く第二咀嚼以降もその硬さが残り、口腔粘膜で附着性を感じる）に官能評価から具体化した。次に、その知覚変化に対応した機器を用いた大変形による破壊計測系を設計しパラメータを数値化し官能評価と組み合わせ検証した。さらに、その破壊時の構造状態を電子顕微鏡で観察し、そのメカニズム（としてもちもちはタピオカ澱粉の伸び易さに起因）を明らかにした。本研究成果から「もちもち」食感の食品を開発する方策を展開できる。例えば、表面はやわらかく、中心がかたい2層構造（不均質構造）を持つ食品に、さらに連続相と界面相互作用を有し伸び易く破断し難い増粘多糖類（例えば、ローカストビーンガム/キサントガムの混合系）を使用することで「もちもち」食感を付与することが出来ると考えられる。この様にレオロジー・トライボロジー・形態学を基盤として「おいしい」食感の感性的表現を破壊過程での食品属性の変化に翻訳するシステムは、「おいしい」食品を開発する手法として、食品構造を制御することでおいしさを設計する「食品構造工学」の発展に寄与する。

(1) タピオカ澱粉/卵白共存モデルゲルを用いて「もちもち」食感表現を構造と物性に翻

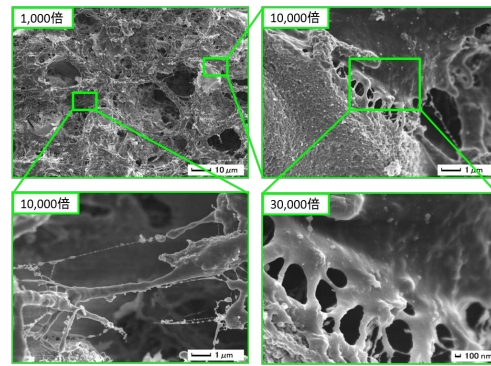


図2. 走査型電子顕微鏡によるタピオカ澱粉添加ゲルの破壊構造の観察
タピオカ澱粉が細く伸びた様子が観察された。

訳するシステムを検討した。「もちもち」食感を切歯・臼歯の咀嚼モデルによる力学特性と構造状態から具体的に明らかにした。噛み始めは応力が小さい（やわらかい）が、噛みしめたときは応力が大きい（噛み応えがある）、咀嚼2回目以降もその応力が持続（噛み応えが持続）、さらに咀嚼中に少し附着性がある（少し歯にくっつく）ことにより、人間は「もちもち」食感を認知していることが明らかとなった。この「もちもち」食感にタピオカ澱粉の伸展性が寄与することを明らかにした（図2）。タピオカ澱粉/卵白共存ゲルについて、破壊過程における力学特性の測定・構造観察、さらに官能評価を行い、それらの関係を解析することで、おいしさの感性的表現である「もちもち」食感の見える化した。本研究で用いた手法が、食品産業において望む食感を効率的に実現する指針となる可能性が示された。

(2) 乾燥条件の異なる試作パスタを用いて、一噛み目の「モチリ/プリッ」食感表現を構造と物性に翻訳するシステムを検討した。この2種類のパスタの食感の違いを破壊構造から説明するために、食感の可視化を目的として、破壊過程の観察手法を確立し、破壊過程の可視化を試みた。破壊過程の観察は、デジタルカメラのスーパーマクロ、ハイスピード動画撮影モードで行った。破断物性を測定するクリープメーターの下部にデジタルカメラを上向きに設置し、パスタの裏方向からクリープメーターによる破壊の過程を観察した（図3）。この製造条件によって食感が異

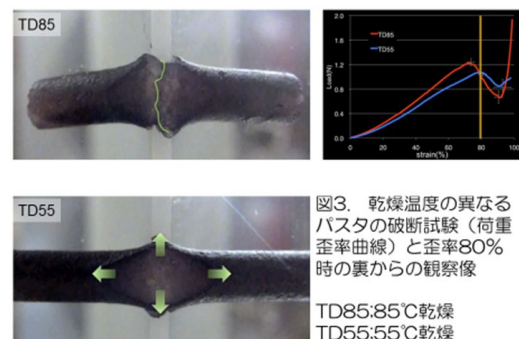


図3. 乾燥温度の異なるパスタの破断試験（荷重歪率曲線）と歪率80%時の裏からの観察像

TD85:85℃乾燥
TD55:55℃乾燥

なる2種類の Pasta について破壊過程の観察により、破壊構造の亀裂の入り方と伸展する方向の違いから第1咀嚼をモデルにした力学特性とそれらの構造状態の解析結果から具体的に以下のように説明された。高温乾燥(85℃) Pasta の「プリッ」とした食感は、咀嚼により Pasta が長さ方向に伸展して亀裂が素早く伝播することにより認知され、低温乾燥(55℃) Pasta の「モチリ」とした食感は、咀嚼により Pasta が Pasta 直径方向と長さ方向の両方に伸展して亀裂が入らずに変形することで認知されると考えられた。高温乾燥 Pasta の「プリッ」とした食感は、咀嚼により Pasta が長さ方向に伸展して亀裂が素早く伝播することにより認知され、低温乾燥 Pasta の「モチリ」とした食感は、咀嚼により Pasta が Pasta 直径方向と長さ方向の両方に伸展して亀裂が入らずに変形することで認知されると考えられた。

(3) プリンを用いて「とろーり」食感表現を構造と物性に翻訳するシステムを検討した。共分散構造分析の結果から「とろーり」食感とは「なめらかな舌触りで口に入れるとやわらかくすぐ崩れて広がる」と定義づけた(図4)。また、物性測定と構造観察の結果から破断点を生じず、明確な亀裂を生じず、未変形とほとんど同じ構造を示すことが明らかとなった。さらに、舌と口蓋で圧縮して咀嚼する代表的な食品である市販のプリン9種類を用いて、食感の見える化を行った。硬さ、弾力性の強いプリンにおいて、低歪率、低応力領域で破断点を生じたのは、タンパク質と多糖類の相分離構造の界面から亀裂が発生したためと考えられる。ざらつきの強いプリンにおいて、応力-歪率曲線より高歪率、高応力領域で破断点を生じたのは、ストランドネットワークが伸び、応力が蓄えられた後、一気にネットワークが破壊されたためと考えられる。一気に破壊が進行するため、大きな破片を形成し、ざらつきを感じたと考えられる。口溶けの良いプリンにおいて、破断後の明確な応力低下を生じなかったのはランダム凝集ネットワークが崩れるように亀裂が多数発生したためと考えられる。亀裂が多数発生したため、小さい破片を形成し、口溶けを強く感じたと考えられる。以上のように、プリンの食感を記述型官能評価によって具体化

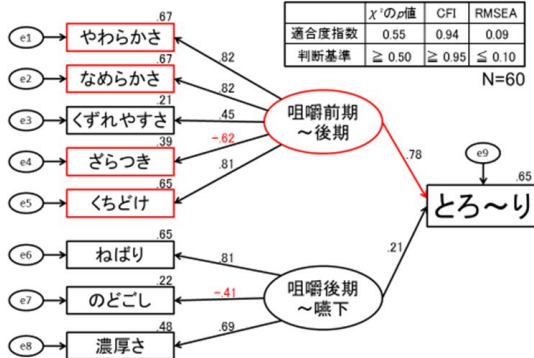


図4. とろ〜り食感の共分散構造分析(官能評価の因果モデル)

し、その食感を破壊物性の数値化と、物性測定によって破壊した構造の可視化から見える化することができた。

また、ゼラチンおよび寒天を添加した試作プリンにおける新食感を検討した。プリンにゼラチン、寒天を単独で添加するとそれぞれの特徴的な食感となるが、それらを単独でゲル化する最低濃度になるように混合するとお互いの特徴とは異なるやわらかくて壊れやすい新たな食感となることが明らかになった。

(4) うどんの「つるつる」食感表現には表面のやわらかさの寄与が大きく、表面の摩擦力の寄与は小さいことを明らかにした。具体的には、うどんの「つるつる食感」への加工澱粉とバイタルグルテンの影響を検討した。うどん食味には「食感」が非常に重要で、口中で咀嚼する時に感じる「もちもち感」の他に、唇で挟んですすする時に感じる「つるつる感」がうどんの美味しさには欠かせない要素である。「つるつる」とは、表面が滑らかなものを吸い込むように食べるときに使われ、心地よく唇を滑る感じを表す擬音語・擬態語である。そのため、「つるつる食感=つるみ」にはうどんの表面状態が重要であると考えられる。最近では、うどんの食感改良に加工澱粉やバイタルグルテンを使用するのが一般的であり、咀嚼する際の「もちもち感」は、タピオカ澱粉を添加することで付与されることがわかっている。その一方で、うどんの「つるつる感」に与える影響はまだ明らかでない。そこで、本研究では、加工澱粉とバイタルグルテンの添加がうどんの「つるつる食感」にどのような影響を与えるのか検討した。

主成分分析(図5)と重回帰分析の結果、以下の式が得られ、「つるみ」には「光沢」と「しなやかさ」が正の相関を与えていることが明らかとなった「つるみ = 0.566 × 光沢 + 0.357 × しなやかさ + 0.168 × なめらかさ」。触感計の結果より、澱粉添加量の増加に伴い摩擦係数は有意に大きくなった。これは、官能試験の「つるみ」と相反する結果であることから、「つるつる感」を感じるためには、表面の滑りやすさよりも見た目の「光沢」や咀嚼時の「しなやかさ」が重要だと考えられる。破断強度試験の結果より、バイタルグルテン添加量の違いで低歪率の荷重に大きな差はみられなかった。また、澱粉添加量の増加に伴い、低歪率での破断荷重は有意に低下

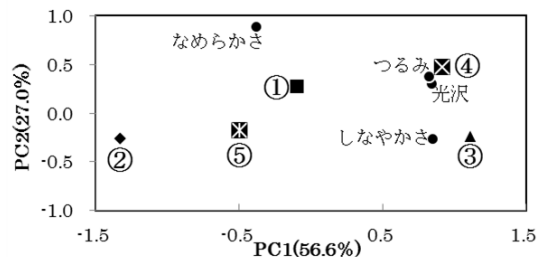


図5. うどんの官能評価結果の主成分分析

した。したがって、澱粉添加量が増えることで麺がやわらかくなることが明らかとなった。これらの結果は、官能試験の「しなやかさ」と相関がある。

以上の結果から、うどんの「つるつる食感」には「光沢」と「しなやかさ」が重要であった。澱粉の添加によって、物性面の「しなやかさ」・見た目の「光沢」が共に増加し、「つるみ」に良い影響を与えた。一方、バイタルグルテンの添加では、物性面への影響は小さかったが、見た目の「光沢」に悪影響を与えた。したがって、うどんの「つるつる食感」には、澱粉は物性・見た目に正の相関、バイタルグルテンは見た目に負の相関があることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

Approach to Palatable Food ~ Analysis of Texture and Flavor Release from Food Structure ~, M.KUSAKA, 他 12 名, T.NAKAMURA, International Food Machinery and Technology Exhibition 2015 (Fooma Japan 2015.6.9-12) The Summaries of Research Announcements, Vol.22, 51-54

"MIERUKA"(visualization) of food texture ~ Approaching from model fracture process focusing on the both oral cavity parts and time axis in mastication ~, C.INAKAZU, 他 11 名, T.NAKAMURA, International Food Machinery and Technology Exhibition 2014 (Fooma Japan 2014.6.10-13) The Summaries of Research Announcements, Vol.21, 168-171

青山博明, 井之上明弘, 付惟, 中村卓, 食品の構造とおいしさ~多成分系における増粘多糖類の影響~, 月刊フードケミカル, 345 巻(1), 57-63 (2014)

森口奈津美, 中村卓, 連続相の異なる卵白・寒天共存ゲルへの油脂添加の影響, 日本食品科学工学会誌 60(9), 471-479 (2013)

〔学会発表〕(計 13 件)

李超, 中村卓, 異なる食感澱粉と大豆タンパク質の共存ゲル構造の破壊機構を各種顕微鏡観察から解析する, 日本農芸化学会 2016 年本大会, 札幌コンベンションセンター(札幌市), 2015 年 3 月 27-30 日

李超, 中村卓, 破壊機構の異なるタピオカと馬鈴薯澱粉の混合ゲルの物性と構造の解析, 日本食品科学工学会第 62 回大会, 2014 年 8 月 28-30 日, 京都大学(京都市)
井之上 明弘, 中村 卓, 冷解凍ゲルの「もちもち」食感へのタピオカ加工澱粉の効果, 日本農芸化学会 2015 年本大会, 2015

年 3 月 26-29 日, 岡山大学(岡山市)
稲員知尋, 佐藤友香梨, 上川理絵, 井上慶太, 中村卓, ゼラチン・寒天混合によるプリンの食感変化の解析, 日本食品科学工学会第 61 回大会, 2014 年 8 月 28-30 日, 中村学園大学(福岡市)
井之上 明弘, 中村 卓, 各種加工タピオカ澱粉/卵白共存ゲルの「もちもち」食感と破壊力学特性の解析, 日本農芸化学会 2014 年本大会, 2014 年 3 月 28-30 日, 明治大学(川崎市)
青山博明, 石川智代, 中村卓, プリンにおける“とろ~り”食感のみえる化, 日本食品科学工学会第 60 回大会, 2013 年 8 月 29-31 日, 実践女子大学(日野市)

〔図書〕(計 1 件)

付惟, 中村卓(西成勝好監修), ㈱シーエムシー出版, 食品ハイドロコロイドの開発と応用, 第 4 編 第 5 章 タンパク質・多糖類混合ゲルの開発と応用, (2015)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.isc.meiji.ac.jp/~foodeng/>

アウトリーチ

2013 年 10 月 09 日 NHK 放送「ためしてガッテン」
「うまっ! 次世代パスタ」ビデオ出演

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 卓 (NAKAMURA, Takashi)

明治大学・農学部・教授

研究者番号: 30328968