

# 乳タンパク質ゲル状食品の力学物性と構造への澱粉添加の影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-07-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 付, 惟 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10291/19575">http://hdl.handle.net/10291/19575</a>

2017年度 農学研究科  
博士学位請求論文（要旨）

乳タンパク質ゲル状食品の力学物性と構造への澱粉添加の影響

Effects of starches on mechanical properties and microstructures of milk-protein gelling food

学位請求者 農芸化学専攻  
付 惟

## 1 問題意識と目的

本研究では、タンパク質と多糖類からなる不均質食品ゲルの構造形成と構造破壊の過程について、基本的な考え方と、食品開発と製造における構造的イメージ化の重要性を示した。また、タンパク質と多糖類共存系のモデルゲルだけではなく、油脂を含む実際のゲル状食品であるプロセスチーズに食感の異なる澱粉を添加することで、多成分共存系について研究した。特に、破壊構造に焦点を絞り、未破壊（破壊前）の構造と破壊時（破壊後）の構造を比較観察することで、どのように構造が破壊されたのかを明らかにし、構造と力学物性の関係を考察した。

過去の研究において、タンパク質・多糖類共存ゲルの大変形試験による破断特性について、多く報告されてきた。しかし、タンパク質や多糖類は製造加工でどのような変化を経て食品構造を形成するのか、形成した食品構造が咀嚼によりどのように破壊し食感を発現するのか明らかではない。これらの変化の過程を具体的にイメージ化できれば、効率的なものづくりと望む食感の実現につながると考えられる。そこで、本研究では、構造のイメージ化を図るために、異なるネットワーク構造の乳タンパク質に食感の異なる澱粉を添加すると、ゲルの破断特性にどのような影響を与えるのかを構造的メカニズムから明らかにすることを目的とした。

## 2 構成及び各章の要約

### <第1章 序論>

食品のおいしさは、風味や香りなどの化学的要因と、外観や食感などの物理的要因によって決定される。現代社会において、おいしさを決める要素の中で食感の占める割合はますます増大している。その食感は、ヒトが咀嚼することによって食品構造の破壊過程から力学特性と構造状態の変化を知覚・認知しており、言葉で表現される。そのため、食品構造を制御することによって、おいしい食感の創造に寄与できると考えられる。具体的な食品構造は食品構成成分と食品加工条件によって決められる。実際の食品は多成分（タンパク質、多糖類、油脂、水、空気、味・香り成分など）からなる不均質構造を持っている。特に、タンパク質や多糖類のようなハイドロコロイド（生体高分子化合物）は食品構造を形成する本体であり、その量と存在状態が食感に直接関与している。

実際の加工食品では、非常にさらさらした液状食品やあまり水を含まない固形食品を除くと、かなり多くの食品がゲル状態で食べられる。例として、チーズやプリンのようなタンパク質ゲル状食品が挙げられる。これらゲル状食品は多くの場合、複数の成分から構成されている。その中でも、食品の構造を形成する主要な成分としてタンパク質と多糖類が挙げられる。しかし、タンパク質と多糖類を併用した場合、それぞれの単独での特徴が発揮されないことが多く、狙った食感を実現することが難しい。そのため、単独系とは異なる多成分系での食品構造と食感の関係を明らかにすることは、食品開発や製造において単に試行錯誤を繰り返すのではなく、指標やイメージをもって効率的に食感を設計するための基盤になると期待される。

## 〈第2章 ネットワーク構造の異なるホエータンパク質（WPI）ゲルの力学物性と構造への澱粉添加の影響を構造破壊から解析する〉

食品タンパク質ゲルにおいて、ホエータンパク質（WPI）は優れたゲル化能を有することから、食品素材や機能性代用食品として広く用いられている。ホエータンパク質のゲル化過程において、ネットワーク構造のマトリクスとして、ストランド構造とランダム構造の二種類がある。ストランド構造は、タンパク質分子間の静電力が斥力である場合に起こり、球状タンパク質分子が数珠状に会合するタンパク質連続相構造である。一方、ランダム構造は球状タンパク質分子が塊状に凝集した粒子集合体のタンパク質連続相構造である。タンパク質ゲルに多糖類を添加することは加工食品の製造においてよく行われている。タピオカ澱粉は食品の食感改良の目的で広く用いられている。一方、馬鈴薯澱粉は「さっくり」とした食感を付与する。この様に種類の異なる澱粉を添加することで、食品に違う食感を付与することができる。しかし、そのメカニズムは明らかになっていない。

本章では、食感の異なるタピオカ澱粉と馬鈴薯澱粉を添加した WPI ゲルを食品モデルとし、ネットワーク構造の異なる WPI ゲルの破断特性への食感の異なる澱粉の添加の影響を破壊過程から明らかにすることを目的とした。pH の違いにより異なるタンパク質マトリクス構造（ランダム/ストランド）を形成し、その時少量の澱粉を添加することによる食感変化の違いを破壊構造から検討した。pH6.8 の WPI 単独ゲルでは、ストランド構造を持ち、高歪高応力で破断したのに対し、pH5.8 ではランダム構造を持ち、低歪低応力で破断した。澱粉の添加混合ゲルでは、単独ゲルよりすべての歪で応力が高かった。ストランド構造ではタピオカの添加ゲルの立ち上がり応力は単独と一致したが、馬鈴薯の添加ゲルは低歪低応力で破断した。ランダム構造ではタピオカの添加ゲルは破断点ではなく、降伏点を生じた。馬鈴薯の添加ゲルは単独より高歪高応力で破断した。

さらに、破壊過程における破壊部位の可視化に重点を置いて、食感の変化をメカニズムから解析した。ストランド構造のタピオカ澱粉と WPI 共存ゲルでは、生じた亀裂断面で澱粉粒が観察されず、タンパク質連続相構造で破壊を生じた。ランダム構造では、澱粉粒が伸びる様子が観察され、タピオカ澱粉の伸びる性質により、延性破壊になったと考えられる。ストランド構造の馬鈴薯の共存ゲルでは、亀裂断面に澱粉粒が残り、タンパク質連続相と分離した。澱粉とタンパク質の界面から破壊されたため、単独のタンパク質連続相で破壊するよりも、低歪で破断したと考えられる。ランダム構造では、破壊後に澱粉粒が変形したが、亀裂断面ではタンパク質連続相構造が観察された。馬鈴薯澱粉粒ではなくタンパク質連続相中で破壊を生じたため、単独より、高歪で破断したと考えられる。以上の様に、ストランド構造とランダム構造である WPI ネットワーク構造において、タピオカ澱粉と馬鈴薯澱粉の添加により、破断特性への影響が破壊メカニズムの差から明らかとなった。本章で行った構造観察や物性測定の手法は、咀嚼を模擬した手法であり、他の食品でも応用可能であると考えられる。

## 〈第3章 プロセスチーズの力学物性と構造への作製条件の影響〉

### 3-1：プロセスチーズの力学物性と構造への異なる乳化条件の影響

実際のゲル状タンパク質食品の一つ例として、プロセスチーズが挙げられる。プロセスチーズは、ナチュラルチーズを加熱溶融し、溶融塩の乳化促進作用により再び成型するものである。プロセスチーズの製造過程では、加熱溶融、シェアリングの乳化工程は製品の品質を決定づける最も重要な工程と考えられている。中でも、溶融塩及びシェアリングの攪拌速度や攪拌時間が製品の粘度上昇によるクリーミング効果に寄与し、製品の物性に影響を与えることが知られている。近年、研究レベルでは、時間やコストなどを考慮し、Rapid Visco Analyzer (RVA) がプロセスチーズの作製に使用されており、攪拌速度、攪拌時間および温度を制御し加熱攪拌中の粘度を測定している。RVA において、目標の温度に達した後、攪拌を続けるとチーズの粘度が

次第に上昇するクリーミング効果が見られる。

本章では、異なる種類の溶融塩を使用したうえで、異なる攪拌速度と異なる攪拌時間の乳化条件を設定し、RVA を用いてプロセスチーズを作製した。攪拌速度が速い時、脂肪球が小さくなり、攪拌時間が長い時、カゼインネットワークがランダム構造からストランド構造に変化した。各種溶融塩を使用する場合、単独溶融塩より、混合塩（ポリリン酸塩：ジリン酸塩=4：1）が著しい効果を示した。さらに、速い攪拌速度がモノリン酸塩の溶融塩としての効果を早めた。以上の結果は、プロセスチーズの粘度、物性および構造などの制御に貢献すると考えられる。

### 3-2：プロセスチーズの力学物性と構造への異なるプレクックチーズ添加の影響

プロセスチーズ製造において物性制御の目的で用いられている技術にプレクックチーズの利用がある。プレクックチーズとは、プロセスチーズを製造する過程で生じたものであり、基本的にプロセスチーズそのものである。プロセスチーズを製造する際、このプレクックチーズを数%添加すると、クリーミングの場合と同様、乳化したチーズの粘度が上昇するとともに最終製品であるプロセスチーズがより硬く耐熱保形性のあるものに変化する。

本章では、プロセスチーズの物性・構造への異なる作製条件で作ったプレクックチーズの影響を調べた。短時間攪拌で作ったプレクックチーズの添加の場合、カゼインネットワークがランダム構造であり、低い粘度や軟らかい物性を示した。長時間攪拌で作ったプレクックチーズの添加の場合、カゼインネットワークがストランド構造であり、クリーミング効果（粘度上昇）、硬い物性および降伏点を示した。特に、長時間攪拌と高速攪拌で作ったプレクックチーズの添加により、プロセスチーズの脂肪球に影響を与え、脂肪球が小さくなり、より硬い物性を示した。以上の結果から、適切なプレクックチーズを用いたプロセスチーズの粘度、物性および構造の制御が期待される。

## <第4章 ネットワーク構造の異なるプロセスチーズの力学物性と構造への澱粉添加の影響>

第2章では、タピオカ澱粉と馬鈴薯澱粉をネットワーク構造の異なるホエータンパク質ゲルに添加することで、それぞれがゲルの破断特性に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。また、第3-2章では、クリーミング効果を持つプロセスチーズをプレクックチーズとして再添加すると、カゼインミセルの構造変化（ランダムからストランド構造へ）が起こり、プロセスチーズの物性にも影響を及ぼすことを明らかにした。

本章では、この食感の異なる二種類の澱粉を用いて、ネットワーク構造の異なる（ランダム/ストランド）プロセスチーズのクリーミング効果・力学物性・構造への影響を明らかにすることを目的とした。同じ加熱条件で澱粉を添加するために、異なる2種類の構造を持つプレクックチーズを添加することによって、異なる構造のプロセスチーズを作製した。ランダム構造を持つプレクックチーズを添加したプロセスチーズにおいて、タピオカ澱粉の添加の場合では、カゼインミセルネットワーク構造がランダムであり、特に、馬鈴薯澱粉の添加の場合では、ランダムからストランド構造に変化した。ランダムからストランドに変化することで、馬鈴薯澱粉の添加により、プロセスチーズの硬さが増加した。ストランド構造を持つプレクックチーズを添加したプロセスチーズにおいて、カゼインミセルネットワーク構造と力学物性への澱粉添加の影響が見られなかった。本章の結果から、ネットワーク構造の異なるプロセスチーズの粘度や力学物性などへの食感の異なる澱粉添加の影響を明らかにした。