

氏名	濟渡 久美
学位の種類	博士（食産業学）
学位記番号	第43号
学位授与年月日	令和4年3月19日
学位授与の条件	学位規程第3条第3項該当
学位論文題目	分子調理を用いた介護食に関する研究
論文審査委員	主査 石川 伸一 副査 西川 正純, 白川 愛子

論文の要旨

急速な高齢社会の進行を背景に摂食・嚥下困難者が増加しており、適した食品に必要な基本要素として、誤嚥に対して安全な食品物性が重要視されている。現在、摂食能力に対応した段階的な食品物性基準と食事形態が嚥下調整食として示され、病院、施設、在宅等で提供されている。しかし、見た目がよくない、バリエーションに乏しい等の課題があげられており、安全な食品物性に加えて、食べる楽しみやおいしさの視点も配慮された介護食が期待されている。その実現の一手法として、分子調理が有用視される。分子調理とは、調理に関する現象、おいしい料理の要因を分子レベルで解明する科学としての分子調理学と、料理の開発を分子レベルの原理に基づいて行う技術としての分子調理法から構成され、両者を関係づけることが、より新しい料理の開発に重要である。そこで、本研究は、介護食に求められている課題の中から、形状を保持した状態でのかたさ低減、および新しい食形態の追加の実現にむけて、既存の分子調理法を用いて、新しい介護食調製の提案を目的とした。この論文の構成は、第一章 分子調理と介護食、第二章 真空低温調理による動物性食品の調製、第三章 真空低温調理による植物性食品の調製、第四章 増粘剤添加によるエスプーマ調製、第五章 エスプーマによる介護食の炭酸化、第六章 介護食への応用、第七章 総括からなる。

第一章では、分子調理と介護食を融合して研究を進める意義を述べた。分子調理は、調理に関する現象を科学的根拠に基づいて理解し、料理に対する新たな科学的知見を集積すること（分子調理学）、ならびに科学的根拠に基づいた新しい料理、新しい調理技術の創成を目指すこと（分子調理法）とされる。我が国の摂食・嚥下障害者の現状と課題、次に適した食事について、種々ある制度を整理して介護食とした理由と課題、さらに上記の分子調理の概要と介護食への導入について解説した。

第二章では、真空低温調理による食肉への長時間加熱が及ぼす影響を検討した。牛すね肉、豚すね肉を真空パック後、55、60、65、70、75℃で、1、3、5、7日間調理したものを試料とし、かたさなどを測定した。官能評価は、3、5、7日間調理した試料を、かたさ、多汁感、うま味、香り、脂っこさ、色、総合評価の7項目について、評点法で行った。その結果、すべての調理温度条件で時間経過とともに軟らかくなった。55℃～75℃の低温長時間調理における肉の軟化分子機序はタンパク質変性、特にコラーゲンのゼラチン化の影響を強く受けると考えられた。60℃以上の調理では、温度よりも時間の影響を強く受け、時間の経過とともにゼラチン化が進み、長時間であるほど軟化した。しかしこの反応には限界があり、ゼラチン化が進みすぎると食肉の構造が保持できる水分が減少し、硬くなることが示唆された。牛肉、豚肉とも

に 65～75℃の調理温度で調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし、介護食に応用できることが示唆された。肉種や部位などに応じた軟化のピークに適応した温度×時間条件で調理することが重要である。

第三章では、真空低温調理によるリンゴへの長時間加熱が及ぼす影響を検討することを目的とし、調理温度 60、70、80、90℃、調理時間 1、12、24、48 時間調理した試料について、色調測定、物性測定などを実施した。官能評価は、温度条件 70℃で調理した試料について、かたさ、甘さ、酸味、香り、色、総合評価について評点法で実施した。その結果、調理時間 12 時間までは調理経過とともに調理温度が高いほど軟らかかった。リンゴの加熱による軟化はペクチンの分解の進行が強く関与するが、ペクチンの分解には限界があることが示唆された。また、時間経過に伴いリンゴの明度が低下した。その変色のメカニズムとして初期の褐変化はポリフェノールオキシダーゼによる酵素的褐変の影響が大きく、長時間加熱による経時的な褐変化は、非酵素的褐変（メイラード反応）による影響が大きかった。官能評価から、味の感じ方は食感や外観の影響を受けることを明らかにした。以上のことからリンゴの長時間真空低温調理は時間温度調整により異なるかたさおよび色に仕上げるができるため、目的に応じて効果的に調製する手段として有用な手段であると考えられた。

第四章では、豆乳および牛乳を用いて、各種増粘剤（ゼラチン、キサンタンガム、 ι -カラギーナン）添加によるエスプーマの起泡安定性を中心とした物理的特性、および若年層、高年層による官能特性を検討した。泡沫の安定性は、豆乳 N_2O エスプーマおよび牛乳 N_2O エスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど増加した。食材によって、安定性の向上に適した増粘剤の種類や濃度が異なることが示唆された。キサンタンガムは、主鎖に対する側鎖の割合が大きく、長い側鎖が主鎖を包み、その分子同士が会合して形成した擬ゲル化状態のネットワーク中に水を保持できる空間をもつ。そのため、キサンタンガムを添加したエスプーマでは、添加濃度の増加に伴いネットワークが密になることで保水性が高くなり、試料の成分特性および物性よりも添加濃度による影響を強く受けたと考えられた。また、カラギーナンの基本構造の硫酸基はタンパク質との反応に関わっているとされ、特に ι -カラギーナンは 3, 6-アンヒドロ α -D-ガラクトース基の C-2 位部に硫酸基があるため、非常に保水性が高く離水の少ない弾力のあるゲルを形成することが知られている。豆乳は牛乳と比較して ι -カラギーナンと反応できるタンパク質を多く有していたため、低濃度でもタンパク質と反応しゲル化した可能性が考えられた。また、嚥下調整食コード 2 の食品物性を示したエスプーマは、2.0%ゼラチン添加牛乳 N_2O エスプーマ、0.2% ι -カラギーナン添加豆乳 N_2O エスプーマであった。これらのエスプーマは、食事調製から提供および摂食時間に要する想定時間の 60 分経過後も泡沫から溶液が分離せず安定性が高かったことから、新しい介護食の食形態として応用できることが示唆された。さらに、若年層、高年層ともに豆乳 N_2O エスプーマは有意に飲み込みやすいと識別され、増粘剤を添加した豆乳および牛乳エスプーマは、介護食の新しい調製方法として期待されることが示唆された。

第五章では、エスプーマを用いて、炭酸刺激を有する固形食品が嚥下反射におよぼす影響を測定するための基礎データの収集を目的とした。介護食の主食である粥および介護用ゼリーに CO_2 を封入して pH の経時変化の測定、食味、嚥下運動評価を行った。その結果、pH が低いほど炭酸刺激が強く感じられる傾向にあった。摂食・嚥下障害者に適した食品物性を有する炭酸化食品が普及されれば、介護食のバリエーションの展開に寄与することが期待される。

第六章では、第二章から第五章までの研究結果から得た知見に基づいて、今後の介護食へどのように応用することが考えられるか、展望と課題をまとめた。

第七章では、以上の知見を取りまとめた。

審査結果の要旨

本論文は、分子調理を用いた介護食に関する基礎および応用研究について書かれたものである。本論文は、新しい調理法である「分子調理法」を用いて現在の介護食の課題を解決することを目指している。具体的に「見た目がよくない」については、フランスでは焼くと煮ると蒸すに次ぐ第四の調理法と呼ばれている真空低温調理法を用いて形状を保持した状態での食材の軟化、「バリエーションに乏しい」についてはスペイン人シェフのフェラン・アドリアが開発したとされるエスプーマを用いた新しい食形態の提案を行っている。

審査委員会では、まず専門家以外にもわかりやすい最終発表会での説明、明快な質疑応答であったことを高く評価した。次に、専門用語の説明追記や文章表現の修正・加筆などの論文全体にかかわる指摘事項を踏まえながら、各章ごとに審査を行った。審査結果の内容は次のように要約できる。

第一章では、まず摂食・嚥下障害者の現状、さらに摂食・嚥下障害者の食の現状について解説している。具体的に様々な介護食の基準について図や表を用いて説明している。さらに、これまでの報告から摂食・嚥下障害者に適した食事は「誤嚥に対して安全な食品物性を有したおいしい介護食」と定義し、嚥下調整食と介護食の違いを示してからおいしさ等に関連した課題を明確にしている。審査委員会では、今後、世界的にも高齢化が進展し、介護食の重要性が増加することが予想されることから、国際的な嚥下困難者用食品基準の動向についても記述を求めた。また、分子調理の定義やその研究範囲、具体的な手法、さらに分子調理による介護食開発の可能性についても説明している。審査委員会では、求められる介護食の条件から分子調理がどのように介護食の課題解決できるかについて、より詳細な記述の補完を求めた。

第二章では、低温長時間処理が真空調理した牛すね肉および豚すね肉の物理化学および官能特性に及ぼす影響について調べている。調理に影響を及ぼす二大要因である温度と時間のパラメーターを変化させることで、それぞれの肉の特性、特に嗜好性に対する最適な条件があることを見出している。この結果は単に高温で長時間加熱することで肉のテクスチャーがやわらかくなるという当初の仮説と異なるものであり、新規性のある内容である。さらに、調理過程における食肉タンパク質の変化についても電気泳動などで調べ考察している。審査委員会では、調理中における肉のかたさ変動の分子メカニズムを知ることが、他の種類の肉での挙動を予測する上で重要なことや、介護現場での有益な情報になることなどから、より詳細なタンパク質科学の見地からの考察の追記を指摘した。

第三章では、低温長時間処理が真空調理したリンゴの物理化学および官能特性に及ぼす影響について調べている。リンゴの長時間の真空調理は、温度×時間条件調整することで異なるかたさおよび色に仕上げることができ、食する人の目的に応じて効果的に調製する手段として有用であることが説明されている。リンゴの褐色化のメカニズムの考察は、化合物が複雑なこともあり難しいが、ポリフェノールオキシダーゼによる酵素的褐変と、酵素が関与せずカルボニル基を有する化合物とアミノ基を有する化合物が反応する非酵素的褐変であるメイラード反応の両面からこれまでの知見を元に考察している。審査委員会では、調理時間、調理温度、色、かたさの一連の実験の結果をわかりやすく一つにまとめた図の追加を求めた。

第四章では、泡沫の安定性が高く嚥下調整食に適した物性を有したエスプーマの調製方法を検討している。まず、豆乳および牛乳を用い、増粘剤添加によるエスプーマの起泡安定性を中心とした物理的特性について説明している。3種類の増粘剤を使用することでそれらのエスプーマの起泡安定性の理由を考察している。実験条件によっては、嚥下調整食コード2の食品物性を示した安定性の高いエスプーマも存在し、本論文の目的である新しい食形態の嚥下調整食になり得る可能性を示した。また、若年層、高年層による

官能特性も検討し、若年層と高年層で好みや味の感じ方が異なる可能性について考察している。審査委員会では、分子調理学の視点での泡の安定性に関わるより詳細な分子メカニズム、若年層と高年層で好みの背景要因、実際の嚥下困難者をパネルとした場合の想定などに関わる考察の記述の補完を求めた。

第五章では、液体の炭酸飲料は水と比較し、嚥下障害患者の咽頭収縮量が増大し、嚥下障害患者の誤嚥が減少するという先行研究を元に、エスプーマによって固体食品に炭酸を付与した介護食の可能性について検討している。審査委員会では、炭酸刺激を有する固形食品が嚥下反射におよぼす影響を測定するための基礎データの収集を行うことを目的との説明があったが、今後の評価方法（官能評価や筋電位測定など）についての記述の補完を求めた。

第六章では、既存の分子調理法を用いて、分子調理科学の原理に従って新しい介護食の知見を今後どのように応用していくか、また、取り組む中で生じた新たな課題について簡潔にかつわかりやすく論じ、第七章では全体を総括している。審査委員会では、今回実験に用いた食材（畜肉やリンゴなど）以外のものでの調理を想定した場合について試問した結果、本論文で行ったような分子調理学による調理現象のメカニズムを考えることが、結果を予測することに繋がり、今後、試行錯誤によらない科学的根拠（エビデンス）に基づいた介護食の開発が今後ますます重要になり、本論文はその一助となるとの回答を得た。

本論文では、分子調理法を用いることで、介護食の見た目の課題については、原形を維持したままの軟化が達成でき、また、バリエーションの課題について、泡沫食品と固形の炭酸化食品による新しい食形態が提案するに至った。本論文によって、新しい介護食の提案にむけた取り組みの結果、新しい介護食の開発には科学的根拠に基づいた分子調理法の利用が有効であり、さらに分子調理学としての新しい科学的知見も得られ、社会全体の幸福に寄与できる論文であるといえる。審査委員会では、テーマの適切性、研究方法の適切性、既存研究との関連の適切性、新規性・有効性、結論の論理性、学会誌等での公表、研究倫理の遵守などの審議も行い、その結果、博士論文として適格であると認めた。