

論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成 24 年度博士課程進学

氏名 守田 愛梨

指導教員 荒木 徹也 准教授

論文題目：食感性工学に基づくナチュラルチーズのおいしさ評価・設計法の開発

【背景】

近年、日本国内におけるナチュラルチーズの需要の高まりを受けて、国内乳業各社では、消費者ニーズにマッチした国産ナチュラルチーズ製品開発が求められている。そのためには、消費者に受け入れやすいナチュラルチーズ生産プロトコルの研究開発が必要である。一方で従来の食品プロセス工学だけでは、フードサプライチェーンの末端である消費者の嗜好度を考慮するという包括的な視点に欠けることが指摘されている。消費者ニーズが多様化した現代において、最適な食品製造プロセスの構築のためにも、消費者嗜好度を満足させる品質を担保する方策の考究が必要である。

他方、食感性工学は、消費者起点の食品の品質設計・開発を行うための方法論のひとつであり、食行動に伴うヒトの視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚の相互作用を表す五感コミュニケーションに着目して、最終製品の品質を最適化するという特徴を持つ。食感性工学の研究手法では、食品に関するヒトの官能的な評価を定量化する一方で、同時に機器による品質計測を行って製造過程で制御可能な物理化学的なデータを記録することにより、人の官能的な品質評価と機器計測による品質特性との間の関係性を明らかにする。これまでも、緑茶飲料の香り設計やデニッシュペストリの食感などのように、対象食品の特徴的な品質特性が一つであり最終製品の品質にもばらつきが少ないものについては食感性工学に基づいた研究がなされてきた。しかしながら、ナチュラルチーズのような発酵食品は、その香りと食感のどちらもがおいしさの評価に強い影響があると予想されるように、特徴となる品質特性が複数あり、それらの品質特性の継時的変化も大きいことから、従来の食感性工学研究の適用は困難であった。さらに発酵食品は、消費者の食文化・食習慣による嗜好性の差が大きいことが知られている。食感性工学に基づきナチュラルチーズの品質を考究するためには、個々の品質特性を適切に計測・分析するとともに、消費者の食文化や食習慣による食嗜好形成プロセスを考慮した官能評価の実施が必要となる。

【本研究の目的】

本研究では、ナチュラルチーズのチェダー種を研究対象として、食感性工学に基づいて官能評価と機器計測を実施し、消費者起点の「おいしさ」を実現するための品質特性を評価・設計する手法の開発を行った。チェダーチーズの機器計測によって評価する品質特性を 1. 粘弾性特性 2. 香気特性の 2 つに分類して論じることとし、具体的には以下の 4 項目を目的とした。

1. チェダーチーズに対する日本人の食嗜好を反映した官能評価用語を作成し、それらを使用した官能評価と消費者嗜好度調査を実施して、日本人によるチェダーチーズの品質評価における官能評価特性を探索し、消費者嗜好度との関係性を明らかにする (第 2 章)。
2. チェダーチーズの機器計測による粘弾性特性と官能評価において得られた官能評価特性間の相互関係に基づいた品質評価のために、官能評価特性に寄与する粘弾性パラメータを特

定し、機器計測された粘弾性パラメータと官能評価スコアとの一対一の対応関係を定量的に明らかにする（第3章）。

3. チェダーチーズの香り分析データから、その香りを構成する主要因子を抽出し、官能評価特性に対して寄与が高い香気成分を特定し、香気特性と官能評価特性間の相互関係性をモデル化する（第4章）。
4. チェダーチーズの粘弾性特性および香気特性に関する包括的な品質評価に基づいて、消費者による嗜好度、すなわち消費者によるおいしさ評価をモデル化し、日本人のチェダーチーズに対する嗜好度の構成要因をその品質特性の側面から明らかにする（第5章）。

【供試材料】

供試サンプルには、国内で入手可能な市販用およびプロセスチーズ原料用のチェダーチーズの中から、粘弾性特性および香気特性がバラエティに富むように配慮し、生産国・地域、熟成度などが異なるサンプルを10品選定した。

【解析手法】

本研究では、主要な統計解析手法として、得られたデータに対してステップワイズ **partial least square regression- variable importance in projection (PLS-VIP)** およびニューラルネットワークモデリング(ANN)を組み合わせ適用した。

【官能評価】

官能評価は、育成訓練した10名の分析型官能評価パネルと主婦59名からなる消費者パネルの2種のパネルによって実施した。日本人によるチェダーチーズ品質評価のために、官能評価用語を新たに選定した。分析型官能評価パネルは官能評価用語（官能評価特性）について15センチ線尺度法を用いて評価した。消費者パネルは9点尺度法を用いて嗜好度（おいしさ）を評価した（第2章）。

【品質特性の計測】

供試サンプルの粘弾性計測は、クリープメータ（RE2-33005s, 山電）を用いて圧縮破断試験、クリープ試験およびテクスチャ試験を実施し、計17項目の粘弾性特性パラメータを得た（第3章）。人の感じる香りを数値化して記録する装置である **Gas chromatography/ Olfactometry (GC/O)** を用いて香気成分分析を実施し、香気成分強度値であるチャームバリュー(CV)を計測して香気特性パラメータを得た。さらにそれらを事前に設定した香りの種類を示す14の香調用語に分類した（第4章）。

【研究成果】

以下に、主要な研究成果を示す：

1. **第2章**では、分析型官能評価パネル候補者13名による予備官能評価の結果から、チェダーチーズの官能評価用語を外観属性6語、香味（香り、風味および味）属性22語、食感属性10語の計38語を選定した。欧米圏で行われたチェダーチーズの異国間での官能評価比較研究では、異なる官能評価用語を使用したとしても官能評価パネルはサンプルの生産国の違いを識別できるとしたが、本研究において日本人官能評価パネルは、生産国、地域の違いを明確に識別することができなかった。これは、日本人と欧米人におけるチーズに関する食習慣や文化的背景によって形成された食嗜好の差が影響したものと考えられる。PLSを用いて分析型官能評価パネルによって評価した官能評価スコアから日本の消費者の嗜好度を予測し、さらに、ステップワイズ **PLS-VIP** を適用することにより、「白色」、

「黄色」、「ミルク風味」、「乾燥した食感」および「醤油風味」の5つの官能評価特性が日本人の嗜好度に対して高い寄与を示すことを明らかにした。5つの官能評価特性と嗜好度間における非線形関係について ANN を用いてモデリングし、官能評価特性同士が互いに影響し合いながら嗜好度へと寄与しているために、個別の官能評価特性一つ一つの示す嗜好度への関係性とは別に官能評価特性群としての嗜好度への貢献度合いが存在する可能性のあることを示した。

2. **第3章**では、機器計測によって得た17の粘弾性パラメータは、供試サンプルの物性を計測した値そのものを示す計測物性値と、計測物性値を粘弾性モデルやエネルギー計算式に当てはめることによりテクスチャの指標とした指標計算値の2種類に分類した。供試サンプルの粘弾性パラメータは、主成分分析によって3つの主成分に分類することができ、その第一主成分はテクスチャおよびクリープ試験で得た指標計算値に高い寄与があり、第2主成分は破断試験で得られた計測物性値が高く寄与することが分かった。しかしながら供試サンプルは、粘弾性パラメータの主成分分析ではその生産国および地域、または熟成期間を識別できないことがわかった。ステップワイズ PLS-VIP を行い、官能評価スコアに対して寄与度が高い粘弾性計測値の変数を選択し、その寄与度、寄与順位および寄与の方向を明らかにし、さらに特定した粘弾性パラメータと官能評価スコア間の非線形関係を ANN によりモデル化した。PLS-VIP の結果から、粘弾性パラメータと官能評価用語との対応関係には、その名称から想起される見せかけの対応関係が含まれる場合があるため、個々の粘弾性パラメータと官能評価用語との一対一の対応関係を把握し、目的の官能評価用語に適切に対応する粘弾性パラメータを選択しなければならないという条件があることを明らかにした。
3. **第4章**では、供試サンプルの香気構成から、acidic/ cheesy 香, caramel 香 および fatty/ metallic 香が主要な香気構成であることが分かった。香気成分の CV に因子分析を適用した結果から、嗜好度の増加に対して香调用語 milky, caramel, cereal は強い相関があり、反対に嗜好度の減少に相関するのは acidic/cheesy, animal, woody であることが分かった。38の官能評価用語のうち、香味属性に属する22用語の官能評価スコアを予測する PLS は、「ヨーグルト臭」、「醤油風味」、「ジアセチル風味」、「塩味」および「旨味」の5つの官能評価スコアに関して高い精度の予測モデルを示した。さらに、PLS-VIP を適用することによって、官能評価特性に対して高い寄与を持つ GC-O の香気成分およびその香调用語を特定することに成功した。ステップワイズ PLS-VIP によって変数選択された香気成分を ANN の入力層に適用することによって、香気成分間および香気成分と官能評価特性間の非線形の相互関係をモデル化した。ANN は、非線形のデータセット間における関係性を表す柔軟な手法であり、香気成分と官能評価特性間における関係性を適切にモデリングすることができた。しかしながら、モデリングされた内容の中には、官能評価のスケールをオーバーするような予測値を算出するものもあり、その場合には ANN をシミュレーション用のモデルとして取り扱う必要があることが示された。
4. **第5章**において、粘弾性パラメータと消費者の嗜好度との間の複雑な非線形関係は、PLS による線形近似手法によってはモデル化することができず、また ANN モデルも予測精度が低い結果しか得ることができなかった。このことから、チェダーチーズの粘弾性パラメータは、消費者嗜好度の直接的な予測因子としては適さない品質パラメータであると考え

た。チェダーチーズの香りのうち、香調用語の Milky 香、Caramel 香、Floral/fruity 香を示す香気成分がおいしさの増加方向に寄与し、その一方で Fatty/metallic 香、green 香、Acidic/cheesy 香および sulfur 香がおいしさの減少方向に寄与する傾向があることが分かったが、この傾向は、日本人特有の嗜好性を示していると考えられた。GC/O によって得た供試サンプルの香気特性と消費者パネルによる嗜好度評価について ANN によってシミュレーションを行うことによって、香気成分間の相互作用およびそのマスキングや増強効果などの複雑な関係性のメカニズムを応答曲面表示によって可視化することができることを示した。PLS において粘弾性パラメータの 17 項目と 43 の香気成分の CV の計 60 の品質特性パラメータを説明変数とし、消費者嗜好度を目的変数としたモデリングを行った。さらに、ステップワイズ PLS-VIP を適用することにより、包括的な品質特性の中でも特に嗜好度に高く寄与するパラメータが 14 項目あることを絞り込み、それらの嗜好度に対する寄与順位と寄与方向を特定した。嗜好度に対して最も高い寄与を示した γ -dodecalactone をはじめとして、粘弾性特性パラメータよりも香気特性パラメータの方が多く嗜好度に寄与することが示されたが、これは、そのテクスチャよりも味や香りや風味の印象の方がおいしさの判断には重要な働きをしている可能性があることを示していると考えられ、消費者嗜好度の認知メカニズムの解釈において極めて重要なデータとなると考えられた。品質特性と嗜好度の相互関係性の探索における最終段階として、ステップワイズ PLS-VIP で嗜好度に対して寄与が高いとして変数選択された包括的な品質特性 14 パラメータを入力層とし、消費者の嗜好度を出力層に適用して ANN モデルを構築することにより、従来では十分に説明がなされてこなかった供試サンプルの機器計測による包括的な品質評価特性と消費者の嗜好度との相互関係性のメカニズムを解明する手段として、PLS-VIP および ANN を連動したモデリング手法が有用であることを示した。

【研究業績】

原著論文：

Airi Morita, Tetsuya Araki, Shoma Ikegami, Misako Okaue, Masahiro Sumi, Reiko Ueda and Yasuyuki Sagara.

Coupled Stepwise PLS-VIP and ANN Modeling to Identify Contribution Order for Aroma Components Conforming Palatability of Cheddar Cheese. Food Science and Technology Research(投稿中)

守田愛梨、荒木徹也、池上翔馬、岳上美紗子、住正宏、上田玲子、相良泰行、PLS-VIP と ANN を組み合わせたモデリングによるチェダーチーズのテクスチャ評価法の開発、日本食品工学会誌（投稿準備中）

守田愛梨、荒木徹也、池上翔馬、岳上美紗子、住正宏、上田玲子、相良泰行、チェダーチーズの GC-Olfactometry における香調用語の分析型日本人パネルによる特定法、日本食品科学工学会誌（投稿準備中）

書籍：

守田愛梨、荒木徹也、池上翔馬、相良泰行(2014)、食品の粘弾性特性と官能評価の関連性分析～チーズを例に～、官能評価活用ノウハウ・感覚の定量化・数値化手法、pp486-89、(株)技術情報協会