

平成 21 年度研究助成報告（兼、終了報告）

研究題名	雑穀由来パン粉による新食感冷凍フライ食品の製法とその品質評価
研究期間	平成 20 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日
研究機関・所属 研究者名	国立大学法人 高知大学・教育研究部自然科学系農学部門 教授 河野俊夫

1. 平成 21 年度研究成果の概要

雑穀 5 種(あわ、こきび、そば、とうもろこし、ひえ)を配合したパン粉を用いて冷凍フライを試作し、食感(カリカリ感、サクサク感など)に関わる表面状態を、レオメーターによる圧縮試験により見かけの応力変動として計測し、雑穀ごとの特徴について検討した。また、その応力変動について周波数分析を行い、50Hz から 500Hz までの 50Hz 間隔でのパワースペクトル密度(PSD)を用いて、実際の食感評価値(-3~+3)との対応関係を LogSigmoid 変換関数を持つニューロン二層によるニューラルネットワークモデルにより表現した。食感予測モデルの評価には、平成 20 年度の研究成果を用いて、ニューラルネットワークモデルの出力である食感の予測平均値および標準偏差から計算される食感評価分布と、実際の評価分布とのオーバーラップ(予測的中率)を確率計算によって求めた。その結果、あわ 55%、ひえ 54%、こきび 51%、そば 50%の評価予測精度を得た。食感予測モデルへの入力 PSD の選択と入力数の増加が予測精度の向上に必要であり、今後の課題となった。

2. 助成期間内での研究成果の概要

平成 20 年度の研究

図 1 は雑穀由来パン粉を用いたフライの食感を予測するモデルである。食感予測モデルの中核には中間層 2 層(ニューロン数 20)を含むニューラルネットワークを用いている。フライ油種、フライ温度、フライ時間、雑穀種類、雑穀配合(割合%)を入力条件とし、雑穀パン粉のフライ時の粘弾性曲線上の振動特性値(ベースライン曲線からの振動のスペクトル)および人の官能試験値(カリカリ感、サクサク感などを -2 から +2 までの 5 段階に評価した数値)の分布母数(平均と分散)を出力する予測するモデルである。ニューラルネットワークを用いた予測モデルの多くは出力分布を考慮せず、直接一点の数値を予測する手法が用いられるが、入力側と出力側とが明確な関数関係である場合を除いては予測精度が低くなる。本研究では、フライの食感にかかわる数値を直接に一点推定することはせず、出力側の確率分布を予測する手法を用いた。出力側を一点推定する場合に比べ、確率的に範囲推定するものである。

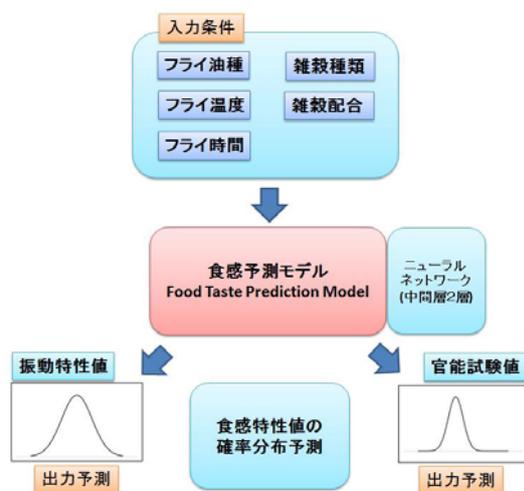


図 1 食感特性値の確率分布を予測するモデル

図2は、食感特性値の確率分布を予測するモデルの予測精度の評価法を示したものである。Aは図1で示した食感予測モデルから得られた確率分布の母数から計算される食感特性値の分布、Bは実験により得られた母数から得られる食感特性の実際の分布である。斜線で示した部分が食感予測の成功確率であり、図の X_1 と X_2 ($X_1 > X_2$ とする)のクロスポイントを求めることでその確率を計算できる。AとBの正規確率分布をそれぞれ $A(x), B(x)$ とすれば、クロスポイントの座標は、 μ を平均、 σ^2 を分散として、

$$\alpha = \sigma_A^2 - \sigma_B^2$$

$$\beta = \mu_A \sigma_B^2 - \mu_B \sigma_A^2$$

$$\gamma = \mu_B^2 \sigma_A^2 - \mu_A^2 \sigma_B^2 - \sigma_A^2 \sigma_B^2 \ln(\sigma_A^2 / \sigma_B^2)$$

を係数とする二次方程式 $\alpha x^2 + 2\beta x + \gamma = 0$ の解である。クロスポイントが一つの場合というのは、1) $\alpha = 0$ または 2) $\alpha \neq 0$ で、かつ二次方程式の判別式 $D=0$ を満たす場合のみであり、こうしたケースはまれであり、実質的には2点のクロスポイントを持つものと考えて良い。分布の頂点が図2のようにBが上になるか、Aが上になるかによって予測成功確率(P_{sp})の計算方法が異なる。クロスポイント X_1 と X_2 との中間点(m とする)でのA, Bの確率高さを比較することで次式により P_{sp} を得ることができる。

(1) $A(m) > B(m)$ の場合: $P_{sp} = 1 - \{\Phi_A(X_1) - \Phi_A(X_2)\} + \Phi_B(X_1) - \Phi_B(X_2)$
 (2) $B(m) > A(m)$ の場合: $P_{sp} = 1 - \{\Phi_B(X_1) - \Phi_B(X_2)\} + \Phi_A(X_1) - \Phi_A(X_2)$

Φ は累積分布関数である。クロスポイントの中間点 m で場合分けするのは、解と係数の関係より、 $(X_1 + X_2) / 2 = -\beta / \alpha$ となり、計算が簡便になることによる。

図1で示した食感予測モデルを用いて、実測データ30点を用いてモデル内にあるニューラルネットワークをトレーニングした後、のべ20名の被験者の雑穀由来パン粉を用いたフライの食感評価分布を予測し、上記 P_{sp} を計算したところ63%の予測成功確率を得た。確率的な予測結果ではあるが、テクニカルなフライ食品の製造条件の参考値を得るための一つの手法としての価値が見出された。

平成21年度の研究

前年度の結果をもとに、21年度はフライ油3種(サラダ油、べに花油、米油)を用いて、雑穀5種(あわ、こきび、そば、とうもろこし、ひえ)および対照区として市販のフライ用パン粉で揚げた冷凍フライについて、そのフライ後の表面の食感特性を粘弾性計(島津製作所、EZ-Test)の圧縮試験モードを利用して測定した。雑穀の配合割合は、フライ用パン粉のもととなる製パンの特性が著しく異なる20%(雑穀20%+小麦粉80%)と40%(雑穀40%+小麦粉60%)の2水準とした。またフライ表面の食感(カリカリ感やモチモチ感)は、平板プランジャー(直径8mm)圧縮時の粘弾性特性における、見かけの応力変動によって表されるものと考え、圧縮試験時の圧縮速度は5mm/min.、最大圧縮強度15Nで行った。冷凍温度は -30°C 、揚げ油温度は 180°C 、揚げ時間は3min.とした。

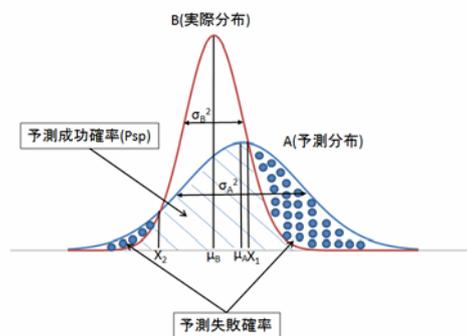


図2 食感予測モデルの評価

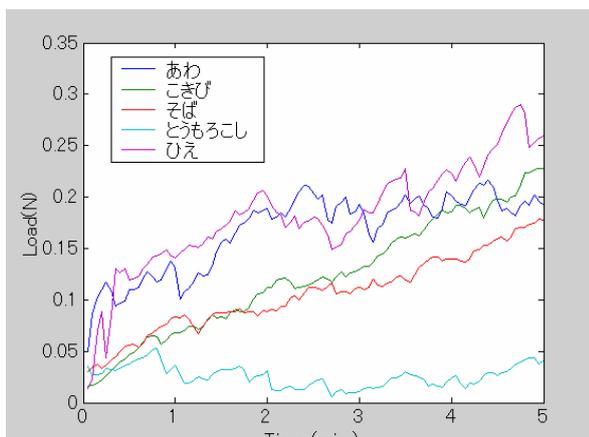
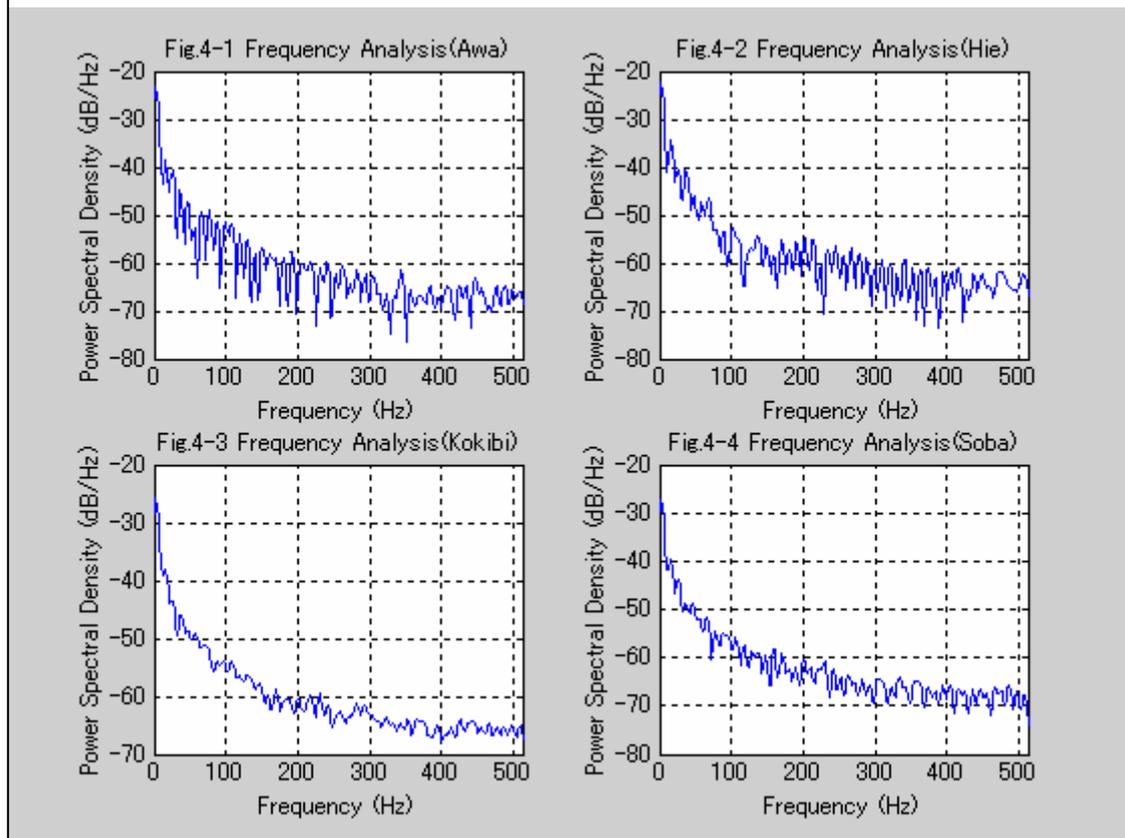


図3 雑穀由来パン粉によるフライ衣の粘弾性特性

図3は、べに花油で揚げた雑穀由来パン粉(配合割合 40%)によるフライ衣の圧縮試験時の粘弾性特性である。とうもろこしを配合したフライ衣の粘弾性が低く食感が非常に下がっている他は、あわ、こきび、そば、ひえ共に、圧縮過程での平板ランジャの押圧にしたがい、表面のフライ性状によって特徴づけられる粘弾性曲線上の変動を生じつつ、全体的に応力が大きくなる傾向となっている。また、あわとひえを材料とするフライ衣の表面は突起状となっているために変動が大きいのに対して、そばとこきびを材料とするフライ衣の場合は表面の粒状性が細かいことを反映して変動が小さくなる傾向を示した。これらの傾向は他の油種(サラダ油、米



油)についても見られたことから、粘弾性特性の上では、フライ衣の食感はフライ油の種類による影響よりも、フライ衣に配合された雑穀による影響が大きいことがわかった。

図4-1~4はとうもろこしを除く4種の雑穀(あわ、ひえ、こきび、そば)を用いて作成した冷凍フライサンプルを、フライ油として消費者が主に用いるサラダ油で揚げた場合の粘弾性特性をもとに、特性曲線の変動を分析ソフト MATLAB(Ver.12.1)とその Signal Processing Toolbox を用いて周波数

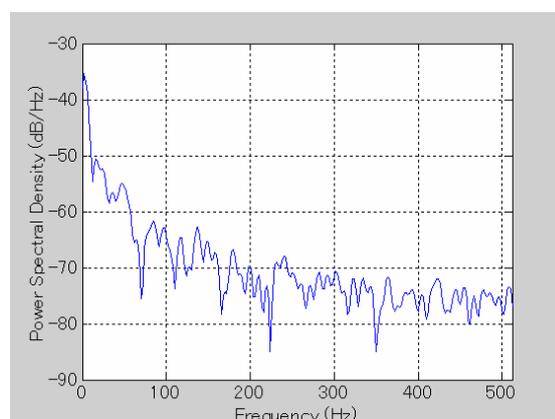


図5 粘弾性曲線の周波数分析 (市販フライ用パン粉)

分析したものである。また図5は比較参照としての市販パン粉による冷凍フライの特性曲線の周波数分析結果である。周波数分析により、図3で示された冷凍フライ表面の食感に関わるカリカリ感やサクサク感が周波数ごとの特徴として変換される。表面がごつごつとした、あわやひえなどはパワースペクトル密度(PSD)の変動が大きくなる一方、フライ表面がなめらかな、こきびやそばなどはパワースペクトル密度の変動は小さくなる。市販の、小麦粉ベースのフライ用パン粉を用いたフライ衣の場合は、それに比較して周波数間での変動幅は大きいものの、緩やかに推移する傾向を示した。そこで、冷凍フライの食感(かりかり感、サクサク感)を-3~+3で評価した結果を、押圧試験による PSD 情報から予測するモデルについて検討した。

図6は、押圧試験による粘弾性特性曲線の周波数分析結果の50Hzごと、500Hzまでの10点でのPSD値をもとに、冷凍フライの食感評価の平均値および分散を予測するニューラルネットワークモデルである。ニューロン層は二層、Log-Sigmoid変換関数をもつ10個のニューロンを1層としている。分析ソフトMATLAB(Ver.12.1)およびそのNeural Network Toolbox(Ver.4.0.1)を用い、教師データとして各雑穀(配合割合は40%とした)について30個の粘弾

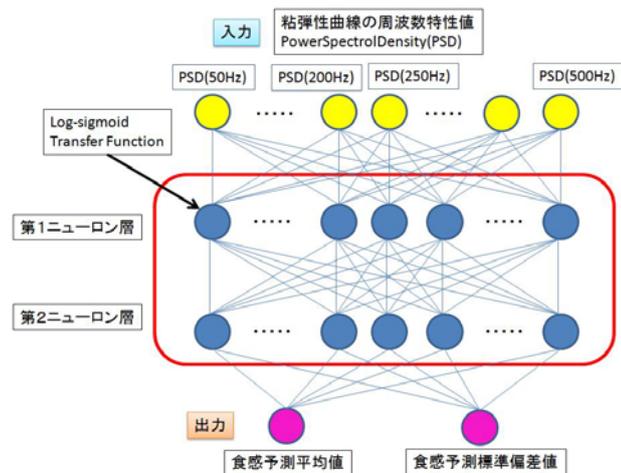


図6 粘弾性曲線の周波数特性値PSDから食感を予測するモデル

性曲線の周波数特性値と実際の食感評価値の組合せデータを使って、ニューラルネットワークによる食感評価予測モデルをバックプロパゲーション学習させた後、30個の別の組合せデータについてそれぞれ、その粘弾性曲線の周波数特性値を用いて学習後の予測モデルにより食感評価値の平均値と標準偏差値の予測値を算出した。その結果、前年度に検討した予測モデルの確率的評価では、あわ55%、ひえ54%、こきび51%、そば50%の評価予測精度となった。予測モデルとしては少し低い予測精度となったが、今後、ニューラルネットワークモデルへのPSD入力として採用するPSDに雑穀ごとに固有の周波数域での値を選択し、さらに入力数を10点以上設けることにより、精度を向上させることができるものと考えられる。

3. 研究発表

1. 清水理恵、河野俊夫、石川勝美：小豆粉を用いた新食感アロマパンの製法とその品質評価に関する研究、農業機械学会関西支部例会、2009年3月
2. 河野俊夫、川口岳芳、房尾一宏、今井俊治：貯蔵時の湿度・ガス組成がワケギの品質に与える影響、日本食品保蔵科学学会年次大会、2009年6月。
3. 河野俊夫、清水理恵、高本健司、前田真利、清水綾華、北田直子：雑穀由来パン粉を用いたフライ衣の食感評価予測モデルに関する研究、日本調理科学学会年次大会、2009年8月。
4. 川口岳芳、房尾一宏、今井俊治、河野俊夫：ワケギ種球の貯蔵温度および貯蔵開始時期が種球劣化および植え付け後の生育収量に及ぼす影響、園芸学会年次大会、2009年9月。
5. 河野俊夫：雑穀パン由来パン粉による冷凍フライの食感品質予測モデルに関する研究(仮題)、日本調理科学学会年次大会、2010年8月(予定)。