

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500926

研究課題名(和文)天ぷらのおいしさ評価のための画像処理技術の開発

研究課題名(英文)Development of image processing method for evaluation of tempura

研究代表者

加藤 邦人(Kato, Kunihito)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：70283281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：天ぷらのおいしさの要素として衣のさくみがあるが、おいしい衣を作るためのメカニズムは詳しく解明されていない。その理由の一つに、油中における衣形成のリアルタイム観測の難しさが挙げられる。そこで、調理過程における気泡による油面の泡立ち解析には同時共起行列を用いたテクスチャ解析と、Contrast特徴を用いることで時系列的に評価する手法を確立した。また、できあがりの衣評価についても同時共起行列を用いたテクスチャ解析と、破断解析の結果をPLS回帰分析(Partial Least Squares回帰分析)を用いることで、破断解析をすることなく高い相関で推定できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The crisp of batter is an important factor in tempura cooking, and it is closely related to the taste. In this research, in order to analyze the process of tempura cooking, we estimated the process of temporal sequence changes of the shimmering state of the oil surface by using image texture analysis. The image of the oil surface includes shimmering caused by bubbles and waves during cooking. In order to evaluate this texture image, we introduced the co-occurrence matrix. To analyze the correspondence between evaporation of moisture and the co-occurrence by PLS regression, the effectiveness of our proposed method was confirmed by experiments under the condition of the oil temperature. The tempura batter after cooking is evaluated by the image processing, the rupture analysis and the sensory test, and these are also analyzed by PLS regression. From these results, a high correlation between the image feature of the tempura batter and the rupture analysis was confirmed.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学、食生活学

キーワード：画像処理 天ぷら調理 調理解析 できあがり評価 テクスチャ解析

1. 研究開始当初の背景

揚げ物調理の研究は多数行われているが、画像処理技術を用いて調理過程を詳細に調べた研究はあまりない。本研究では、天ぷらの調理過程は、(1)油への投入直後の初期段階、(2)衣の水分が蒸発し、衣が形成される中期段階、(3)衣がたねを覆い内部を蒸し状態で加熱する後期段階に分かれると考えた。

例えば、たねにサツマイモを用い、油の温度を 160、180、200 の 3 条件で 1 分ごとの水分蒸発量を計測すると、図 1 に示すように水分蒸発量はほぼ温度と比例し増加し、1 分間の水分蒸発量は投入直後から 20 秒までが非常に多く、40 秒後からは温度に比例すること等がわかった。これらの結果より、液体である衣から水分が短時間に蒸発し、糊化を伴い固い衣が形成される初期段階はこの間であることを見出した。

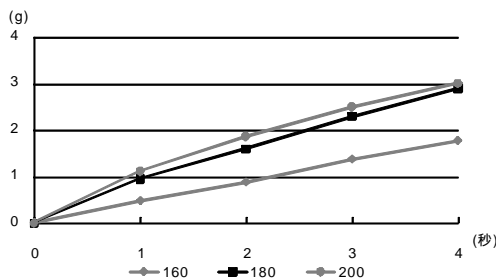


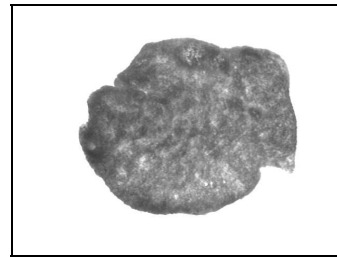
図 1 調理過程における水分蒸発量 (0~4 分)

さらに、できあがりの衣について透過照明を用いて撮影し、画像処理を行った結果、図 3 のように温度により衣に大きな変化が起こることがわかった。160 では衣に凹凸が見られず、逆に 200 では波打つような衣となる。180 では理想的な衣とされている気泡状となった。

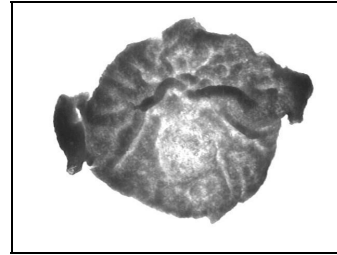
以上により、油への投入後 20 秒間が天ぷらの衣形成に非常に重要であることがわかった。



(a) 160 度



(b) 180 度



(c) 200 度

図 2 各温度での衣の画像処理結果

2. 研究の目的

衣の形成と水分蒸発量には大きな関係があることがわかってきたが、油の中で起こっている現象を観測することはできない。そこで、調理過程において水分蒸発量と、油面の泡や波立ちなどの画像情報を観測し、水分蒸発と油面の変化を画像解析、統計処理することで衣形成過程を解明する。

また、油の温度により、できあがりの衣の形状が大きく変わり、食感に大きく影響すると考えられる。そこで、衣を透過照明で撮影し、画像のテクスチャ解析技術により、凹凸情報を定量的な画像特徴量とする技術を開発する。さらに、油の温度が衣の形状に及ぼす影響をしらべるため、破断解析、官能検査を行い、画像特徴量との相関関係を調べることで衣のおいしさの定量的な評価法を明らかにする。

3. 研究の方法

平成 23 年度は調理過程解析として、揚げ調理中の画像を撮影するための最適なカメラ、照明条件など、撮影方法を確立した。さらに、撮影された気泡、油面の揺らぎ情報からどのように画像特徴を抽出するかの検討を行った。

以上より、調理過程での水分蒸発量の推移を実測し、画像特徴量との相関を求める手法の開発を行った。

また、できあがり評価として、できあがった天ぷらから衣を壊さず分離することが難しいため、安定して画像計測ができる衣サンプルの取得方法を確立した。さらに、衣の画像処理に適した透過照明装置とカメラの選定、ならびに計測システムの開発を行った。

以上により得られたデータより、画像処理による衣の凹凸特徴の抽出法を開発した。

平成 24 年度においては、調理過程解析として画像特徴量と水分蒸発量の推移データより、画像処理による水分蒸発量推移計測法の開発を行った。また、調理条件を変化させ撮影実験、計測を行い、水分蒸発量推移計測法の検証を行うとともに、どのような水分蒸発過程をとるのがよいのか定量的評価を行った。

一方、できあがり評価では、衣の物性測定を行い、その結果と衣の画像処理による凹凸特徴との相関関係を求め、衣のおいしさの定量的評価法の開発を行った。

平成 25 年度は、構築した定量評価法を検証するため、油温を 160 度、180 度、200 度と変え各種実験を行った。実験結果から、調理過程解析法の検討と、できあがりの衣の評価を行い、PLS 回帰分析を用いることで効果的に画像からさくみを推定できることが確認できた。

4. 研究成果

てんぷらの調理過程解析、ならびにできあがりの衣解析には、同時共起行列によるテクスチャ解析手法を用いた。

同時共起行列とは、図 3 に示すように、入力画像中の輝度値 i のある画素から角度 θ の方向に、距離 r 離れた一定の変位 $\sigma=(r, \theta)$ 離れた画素の輝度値が j である確率 $P_{\sigma}(i, j)$ を要素とする行列である。

同時共起行列では、得られた行列から様々な特徴を得ることができるが、本研究では調理中に発生した気泡や波により発生した油面に揺らぎを評価するため、contrast を特徴量として使用した。

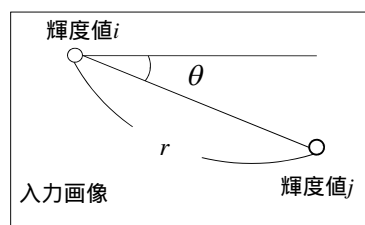


図 3 同時共起行列の輝度値の組合せ方

同時共起行列から contrast 値を算出するには、式(1)を用いる。

$$\text{contrast} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i-j)^2 P_{\sigma}(i, j) \quad (1)$$

これを各温度の調理中動画の全フレーム分算出したものが図 4 である。160 の実験では contrast 値は終始横ばいであった。180 では投入直後、一度大きく contrast 値は上昇したが、その後おさまリ、15 秒付近にてもう一度上昇した。200 では投下後 contrast 値は大きく上昇し、その後ゆるやかに減少していった。その後 50 秒付近でもう一度上昇が見られた。

contrast 値の上昇と調理中の気泡の発生、油面の揺らぎは連動していることが確認できた。

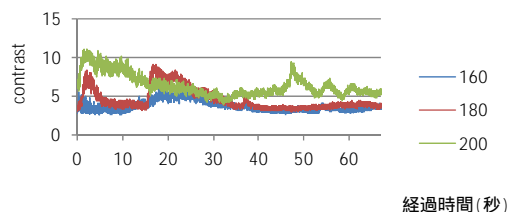


図 4 調理中動画における contrast 値の時系列変化

できあがりの衣の画像も同様に、contrast 値を算出する。得られた contrast 値は 200、180、160 の順に高かった。しかしヒストグラムで見ると、大きな差異は見られなかった。これは撮影画像が大きく、同時共起行列は隣合う画素の値を見るために、衣の起伏を捉えられなかったためと考えられる。

一定の距離関係の画素対から算出した特徴量のみでは、油面の揺らぎや衣の凹凸の大きさ等の要素を画像特徴として十分に表現することができない。そこで大きさの情報を詳細に解析するために、多重解像度を用いて解析を行った。解像度は、調理動画には原画

像に対し 1/2、1/4、1/8、1/16 の 5 つで行う。衣画像には原画像に対し 1/2、1/4、1/8 の 4 つで行った。調理動画の解像度を下げた例を図 5 に示す。



図 5 多重解像度の例
(原画像と解像度 1/16 の画像)

180 の調理動画に多重解像度解析を行ったものを図 6 に示す。解像度 1/16 において、投入直後の contrast 値の上昇が原解像度に比べ抑えられているのが確認できる。投入直後の気泡は激しく出現するが小さく、1/16 解像度では観測されにくかったためと考えられる。

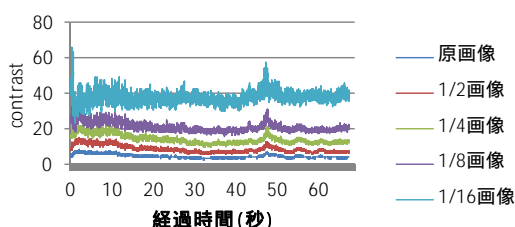


図 6 180 での多重解像度解析

できあがりの衣画像で得られた各解像度の contrast 値の平均値を表 1 に示す。原解像度では 160、200、180 の順に contrast 値は高いが、1/2 解像度以降は 200、180、160 の順に高い。多重解像度解析によって大きさの異なる凹凸を表現できたことが確認できる。

表 1 多重解像度結果

	テクスチャ解析(contrast)				
	原解像度	1/2	1/4	1/8	1/16
160	137.69	288.92	540.09	872.28	1206.74
180	134.67	300.05	561.77	904.21	1299.53
200	136.27	311.72	577.61	937.69	1481.57

水分蒸発量とできあがりのおいしさには、直接的な関係があると思われる。撮影と同時に観測を開始し、時間による水分蒸発量の変化と、前述の contrast 値の時系列変化を比べ

た。実験比較結果を図 7 に示す。結果を見ると、contrast 値の変動と水分蒸発量には相関が無いように見える。これは、水分蒸発量が同じでも、発生する気泡の大きさ、頻度が変わることによって、できあがりに差が出てくるものと考えられる。

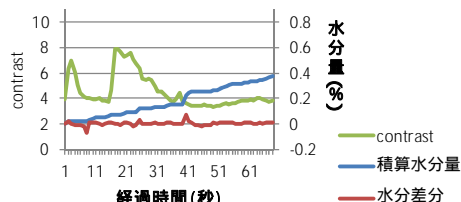


図 7 水分蒸発量と contrast 値の比較

以上のように、画像解析を用いて特徴量を定量化したが、それだけでは、実際に人が感じるおいしさとの相関は推察しかできない。そこで、実際に衣の硬さ、さくみを測るために破断解析を行った。破断解析では元の厚さからどの程度の割合を潰したかの歪率、プランジャーにかかる応力を得ることができるが、本実験では、応力と歪率の微分値を用いた。微分値がマイナス値に触れた部分を衣が破断した点と見ることができ、破断回数を衣のサクサク感と仮定し観測を行った。表 2 には破断解析の結果の、各温度の平均を示す。なお、解析は衣の中心部と凹凸の最大部の 2 か所に行った。

表 2 破断解析結果の平均

	破断回数	最大値	平均値	偏差	
中心部	160	3.3	-31205.7	-8344.4	8393.3
	180	2.2	-8035.6	-5538.6	1813.8
	200	9.5	-1825014.5	-207029.0	525261.6
最大部	160	32.5	-374672.0	-49900.0	72280.8
	180	24.7	-1672685.9	-118877.8	337026.4
	200	18.5	-189585.4	-42623.5	47022.0

天ぷら調理には様々な要素ができあがりに関係してくる。各要素間の相関を推定するために、回帰分析を用いた。

回帰分析とは、異なる変数間の関係を表す式を分析し、未知の変数が入力された際に、その変数に対応するもう一方の変数の値を推定する回帰式を得る手法である。推定する未知の変数を説明変数といい、入力された説

明変数から推定される変数を目的変数という。今回は説明変数に階調を下げた同時共起行列、同時共起行列によって得られたコントラスト、破断解析結果、調理前からどれだけ水分が蒸発したのかを表す水分蒸発率を用いた。また、目的変数には破断解析で得られた、中心部での破断回数と、前述の水分蒸発率を用いた。

本実験では主成分回帰分析と PLS 回帰分析を用いた。回帰式によって推定された値と実際の値の誤差は、目的変数と説明変数の相関を最大となるよう推定する、PLS 回帰分析が優れた結果となった。表 3 に PLS 回帰分析を用いて水分蒸発率を推測した際の推定誤差の平均を示す。

推定誤差平均ではどちらも、32 階調での同時共起行列が優れた結果となった。

表 3 PLS 回帰分析の結果

目的変数:水分蒸発率(%)		
説明変数(階調数)	誤差平均	誤差分散
同時共起行列(32)	2.18	9.35
同時共起行列(16)	2.34	9.55
同時共起行列(8)	2.40	10.35
同時共起行列(4)	2.34	9.68
コントラスト	2.23	8.64
破断解析	2.44	11.05

各温度全サンプルの水分蒸発率の平均と偏差を図 7 に示す。推定誤差平均の最小は表 3 のとおり約 2.2(%)であり、各温度の偏差以下に収まっている。しかし、推定誤差と偏差は単位は同じでも意味合いが違うので、単純に比較することはできない。

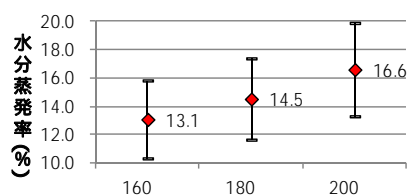


図 7 水分蒸発率の平均と分散

本研究では天ぷら調理に同時共起行列を用いることで、調理に関わる様々な要素を解析、定量化した。

また、おいしさに直接関わる水分蒸発量を、調理動画から得られる油面の状態の時系列変化と比較した。水分蒸発量は温度と時間に比例し、油面の状態とは相関が低いことを確

認した。

さらに、天ぷらを食べたときの食感にあたる、硬さ、さくみを破断解析によって解析した。実際に人が感じるさくみ、おいしさを官能検査によって推察した。有意な差は得ることはできなかったが、さくみやおいしさは適温といわれる 180 が優れた結果を示した。

さらに、天ぷらの調理中、できあがりに関係する各要素の相関を推定するために、回帰分析を行った。これにより、天ぷら調理に画像解析を用いることで、定量的に解析、推測できる可能性を見出した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

Makoto Wada, Kunihito Kato, Noriko Ogawa, Yasushi Yamada, Yoshihiro Ueda, Michio Kasai, Evaluation of TEMPURA cooking method by using gray-level co-occurrence matrix, The 2012 International Workshop on Advanced Image Technology, 2012, 394-398, 2012 年 1 月 10 日, Majestic Hotel Saigon, ホーチミン、ベトナム
和田真、加藤邦人、山本和彦、小川宣子、山田和、小林由実、上田善博、笠井通雄、共起ヒストグラムを用いた天ぷら衣の形状推定に関する研究、平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会 2011、C2-1、2011 年 9 月 26 日、三重大学

和田真、加藤邦人、山本和彦、小川宣子、山田和、小林由実、上田善博、笠井通雄、動画画像処理を用いた天ぷら調理解析に関する研究、精密工学会・画像応用技術専門委員会サマーセミナー-2011、Vol.20、2011、63-66、2011 年 8 月 29 日、上諏訪温泉 かたくら 諏訪湖ホテル

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況（計0件）

〔その他〕
<http://www.cv.info.gifu-u.ac.jp>

6．研究組織

(1)研究代表者

加藤 邦人 (KATO, Kunihito)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号：70283281

(2)連携研究者

小川 宜子 (OGAWA, Noriko)
中部大学・応用生物学部・教授
研究者番号：30139901