

フグ類身欠きの品質評価モデル

中村堯史^{*1}, 中村誠^{*2†}, 太田博光^{*3}, 前田俊道^{*4}, 明田川雅子^{*1}, 森元映治^{*3}

Skillful Quality Evaluation Models of Dressed Puffer (*Migaki*)

Takafumi Nakamura^{*1}, Makoto Nakamura^{*2}, Hiromitsu Ohta^{*3}, Toshimichi Maeda^{*4},
Masako Aketagawa^{*1} and Eiji Morimoto^{*3}

Abstract : The techniques employed by highly skilled cooks in Shimonoseki to assess the quality of puffer meat were examined to develop a quality evaluation system for *migaki fugu*, or dressed puffer fish. A total of 130 Tiger puffer (*Takifugu rubripes*) and 215 Purple puffer (*Takifugu porphyreus*) were evaluated five classes for quality by cooks. The cooks were asked to rate the quality of puffers based on color of the fish body surface, texture of fish meat and fish freshness. Statistical analysis of their quality evaluations revealed that the cooks evaluated the freshness of the fish meat most highly. Quality indicators were not related to the texture of fish meat, but rather to a combination four colors on the dressed fish surface. Models were developed using color as the antecedent variable and simulations using a cache of tests were performed. The quality scores assigned by the models agreed with the evaluations of the cooks for range (e.g. 80 – 90%) of the samples tested.

Key words : Tiger puffer, Purple puffer, quality evaluation, skilled cook, modeling

緒言

わが国では縄文時代の貝塚から多くのフグの歯が掘り起こされていることから、古い時代より人々がフグを食用として賞味していたことがわかる。江戸時代にはフグ食の文化が一般化したようであるが、フグ刺しやフグチリなどのフグ料理が開発されたのは幕末維新の頃の下関が始まりとされる¹⁾。現在、下関市内では多くの飲食店がフグ料理を取り扱っており、下関はフグの本場としてのブランドを誇っている。フグ類には毒を有する魚種があり、有毒部位も種類ごとに異なっている。わが国ではフグ毒による食中毒事故を防止することを目的として、食用に供してよいフグの魚種、およびその部位、漁獲海域などを規定している²⁾。また、山口県でもフグの取り扱いを「ふくの規制に関する

条例」で厳しく規制をしており、ふぐ処理師の技術は下関のブランド維持に大きく貢献している。しかし、近年では長引く不況や魚価の低迷のためフグの消費量も減少していることから、ふぐ処理師の技術レベルの維持にも課題を有している。そこで著者らは、ふぐ処理師による身欠き品の品質評価を対象に解析とモデル化を行い、ふぐ処理師と同等の品質評価を可能とするシステムを開発することを目指した³⁾⁶⁾。前報ではふぐ処理師によるトラフグ身欠きとマフグ身欠きの品質評価には身欠きの体表の4個の色彩が反映すること、またこれらの色彩を変数として組み合わせることによってふぐ処理師の品質評価に相当するモデルを構成可能であることを示唆した。よって本報告では、これらフグ類身欠きに対するふぐ処理師の品質評価のモデル化を行い有用性を検討したので、その結果について報告する。

^{*1} 水産大学校水産学研究科生 (Graduate student, National Fisheries University)

^{*2} 水産大学校水産学研究科 (Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University)

^{*3} 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University)

^{*4} 水産大学校食品科学科 (Department of Food Science and Technology, National Fisheries University)

†別刷り請求先 (corresponding author) : nakamura@fish-u.ac.jp

実験と解析方法

1) ふぐ処理師と試料魚

モデル化の対象としたふぐ処理師は下関市内の老舗仲卸に勤務する50代の男性2名(経験年数30年と25年)とした。試料魚には、食用として需要が高く「フグの王様」と呼ばれるトラフグ *Takifugu rubripes* と「フグの女王」と呼ばれるマフグ *Takifugu porphyreus* を定めた。試料は下関市地方卸売市場南風泊市場で競りにかけられた活きた養殖トラフグ130尾とマフグ215尾を用いるものとした。なお、試料の調達には実験中のK値への影響を低減するため実験一回につき各群2尾(計10尾)から4尾(計20尾)迄とした。Table 1に試料の体格を示す。試料の身欠き処理は

解析対象のふぐ処理師が行うものとし、1尾あたりの身欠き処理に要する時間は3分程度であった。試料の品質は身欠き処理後の水洗を経て、温度2°Cで約8時間冷蔵した段階でふぐ処理師2名が同時に評価するものとした。品質の評価尺度は計5群とし、評価の高いものから順に第1群(優: Class 1)、第2群(良: Class 2)、第3群(並み: Class 3)、第4群(やや劣る: Class 4) および第5群(劣る: Class 5)と定めた。各群の品質の目安は、第1群が鮮度と見栄えの両面で特に優れているもの、第3群が仲卸の扱う標準的なもの、また第5群は鮮度と見栄えが極めて劣るものとし、第2群と第4群はそれぞれ隣接する群との中間の品質と定めた。

Table 1. Constitution of specimens.

Class	Tiger puffer			Purple puffer		
	Number of samples	Length (mm)	Weight (g)	Number of samples	Length (mm)	Weight (g)
1	26	261.9 ± 13.3	286.5 ± 37.7	38	252.1 ± 25.3	231.2 ± 79.9
2	26	261.2 ± 19.9	275.9 ± 37.0	46	249.0 ± 26.8	209.8 ± 70.3
3	26	260.0 ± 15.1	270.1 ± 43.0	49	251.4 ± 27.6	215.0 ± 68.6
4	26	247.0 ± 48.2	269.9 ± 48.1	42	265.0 ± 30.7	245.0 ± 69.0
5	26	250.1 ± 13.1	258.7 ± 42.7	40	259.6 ± 28.2	232.5 ± 66.2
All samples	130	256.0 ± 26.5	272.3 ± 42.9	215	255.1 ± 28.4	225.9 ± 72.0

[mean ± standard deviation]

2) 実験方法

試料は身欠きを二枚に下ろした後、背骨と尾鰭の付いた側を体表の色彩測定に、また裏側を二分割して魚肉鮮度K値およびかたさの測定に供した。Fig. 1とFig. 2にそれぞれ試料片の様子と体表の色彩の測定点を示す。測定点は背部2点、体幹部3点、尾鰭1点、腹部2点および腹腔内2点の計10点とした。以下、各測定点の名称は各測定線の交点、例えば、背部の頭部寄りの測定点では記号により(L1-C1)で、また腹腔内の測定点は頭部寄りからそれぞれ(acL3-C1)、(acL3-C2)と表すものとする。

体表の色彩の測定項目にはCIE1976表色系に規定され

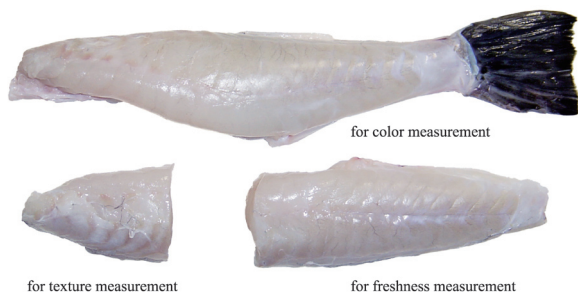


Fig. 1. Test pieces.

る明度指数L*、色座標a*、b* (以下、色度a*、b*と呼ぶ)を、また体表の保水性や粘性の程度を表す指標として輝度Lを定めた。各測定点の彩度C*ab、色相角度h及び2点の測定点間の色差ΔE*abはそれぞれ式(1)から式(3)により求めた。

$$C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [—] \quad (1)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad [^\circ] \quad (2)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad [—] \quad (3)$$

ここで、Δは2点の測定点の色彩の差を表す。なお、色彩の測定には光源にCIE測色用標準イルミナントD65を内蔵する測定径8mmの接触式色彩計(コニカミノルタセ

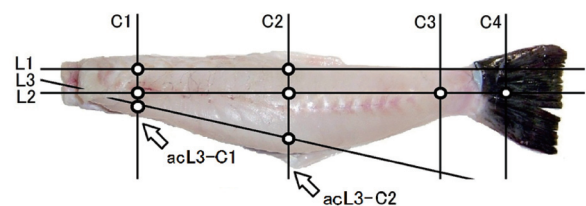


Fig. 2. Test pieces.

ンシング(株):CR-400)を、また輝度の測定には非接触式輝度計(日本電色工業(株):NL-1)を測定面積が色彩の測定と同程度になる条件で用いた。

魚肉の鮮度指標には初期鮮度との相関性が高いK値⁸⁾を用いるものとした。K値は式(4)に示すとおり、魚肉中のATP(アデノシン三リン酸)関連化合物の総量に占めるHxR(イノシン)とHx(ヒポキサンチン)の総量を百分率で表す指標である。K値の一般的な目安⁹⁾は即殺魚で5%程度、生食用で20%以下、可食限界は60%程度迄とされている。各試料の試料肉は1尾あたり1gと定めて採取した。K値の測定にはトラフグは130尾、マフグ75尾を用いた。

$$K \text{ 値} = \frac{H_xR+H_x}{ATP+ADP+AMP+IMP+H_xR+H_x} \times 100 [\%] \quad (4)$$

魚肉のかたさには縦30mm、横30mm、高さ10mmに加工した試料片に対する縦弾性係数E¹⁰⁾を用いるものとし、圧力試験により求めた。式(5)に縦弾性係数Eの基本式を示す。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

ここで σ は応力、 ϵ はひずみである。なお、かたさ測定の試料は各群から5尾ずつを無作為に抽出して、計25尾を試験に供した。

これらの指標の測定時間は、体表の色彩とK値は競りから販売に至る迄の期間を考慮して、試料入手後1時間経過時(身欠き処理後約9時間、以下1時間経過時と呼ぶ)、24時間、48時間および72時間の各経過時と定めた。魚肉のかたさの測定はフグ肉の死後硬直を考慮して2時間経過時のみとした。なお、体表の色彩測定、K値分析における中和処理およびかたさの測定は温度を12.0℃、湿度を50%RH程度、照度を300lxに保った恒温室内で行うものとした。また試料は発砲スチロール製の容器に氷納して温度を2.0℃に保ち、冷蔵室に保管した。

3) 解析方法

(1) ふぐ処理師の品質評価と魚肉鮮度及び魚肉のかたさ

品質評価とK値との関係については、各測定時間における各群のK値の基本統計量を求めた後、評価群と測定時間を水準とする二元配置の分散分析を行い、多重比較で検定するものとした。なお分析にあたっては等分散の検定にルービン検定を、また多重比較の検定にはテューキーの隔たり検定をそれぞれ用いた。

解析に用いる体表の色彩には、先ず次の第1)項~第4)項の計29点を定めて各測定時間における各評価群の基本統計量を算出した。

- 1) 部位(背部、体幹部、腹部、腹腔)内の各測定点の平均(計4点)
- 2) 各測定点(計10点)
- 3) 部位内の2点の測定点間の差(計6点)
- 4) 部位間の2点の測定点間の差(計9点)

ふぐ処理師の品質評価と体表の色彩との関係は各測定時間における色彩について群間の母平均の差の検定(t検定)により検討した。

体表の色彩とK値との関係は相関分析と無相関の検定によりそれぞれ確認するものとした。

(2) 魚肉の品質評価と魚肉のかたさの関係

ふぐ処理師の品質評価と魚肉のかたさとの関係は、かたさについての群間の母平均の差のt検定により検討した。

(3) 品質評価の構造

次に、ふぐ処理師の品質評価の構造は正準判別による判別分析法により解析するものとした。式(6)に判別関数の基本式を示す。

$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (6)$$

ここで、Zは判別関数、 x_i は説明変数、 a_0 は定数項、 a_i は判別係数である。説明変数には、主に先の相関分析でK値との関連が確認された色彩のうち、母平均の比較により24時間経過時迄継続して有意差($P < 0.01$ 、または $P < 0.05$)を確認したものを採用した。説明変数の数は判別分析式の複雑化を避けるために4個迄とした。判別分析の結果、トラフグでは判別率的中率が70%以上、またマフグでは判別率的中率が50%以上を得た判別分析式のうち、魚肉の変性(硬直、解硬、腐敗)に伴う体表の色彩の挙動¹¹⁾、体表の保水性と粘性の経時的変動等¹²⁾¹³⁾、およびふぐ処理師の意見を参考にして、品質評価を最も良く反映するものを絞り込み、ファジィ推論を用いたモデル(以下、ファジィ推論モデルと呼ぶ)に組み込むものとした。

4) モデル設計および評価方法

トラフグ身欠きのファジィ推論モデルの設計には計80尾を、またモデルの評価に計50尾を用いた。同様にマフグ身欠きでは各々63尾と152尾を用いた。ファジィ推論モデルの前件部変数には3)で抽出した最もふぐ処理師の品質評価を反映した色彩の組み合わせを、また後件部変数

には評価群を適用した。式 (7) にファジィ規則の基本式の構造を示す。

If Hue is A_i and Value is B_i and Chroma is C_i and Luminance is D_i then Class is E_i (7)

ここに $A_i \sim E_i$ はファジィラベル、又 Class は評価群を表す。ファジィ規則は品質評価の分析結果とふぐ処理師の意見に基づき作成した。前件部変数のメンバーシップ関数 (以下に MF と呼ぶ) は VH(very high)、HI(high)、ME(medium)、LO(low)、VL(very low) の 5 個で構成した。関数 LO、ME および HI には三角形を、また関数 VL および VH には台形を適応した。前件部変数を構成する各色彩の変数の MF は次のステップを経て作成した。

Step 1:

変数の全試料の平均値を関数 ME のグレード 1.0 に対応させ、関数 ME のファジィ部分集合の幅を標準偏差 σ の大きさに定める。

Step 2:

関数 VL および関数 VH のグレード 1.0 は、関数 ME のファジィ部分集合の中心から標準偏差 σ ほど離れた距離に定める。

Step 3:

関数 HI は関数 VH と関数 ME の中間に、また関数 LO は関数 VL と関数 ME の中間に定める。

確定演算方式には Min-Max 重心法¹⁴⁾を用いた。Min-Max 重心法は現在最も多くのシステムに利用されている確定演算方式である。Fig. 3 に Min-Max 重心法の推論過程の例³⁾を示す。

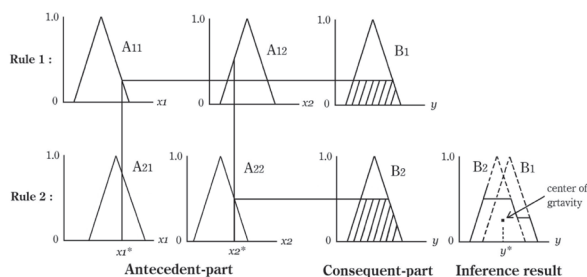


Fig. 3. Inference process of the min-max gravity method.

ファジィ推論モデルは前件部 2 変数、後件部 1 変数で構成し、ファジィ規則の基本式は次のようになる。

Rule 1: If x_1 is A_{11} and x_2 is A_{12} then y is B_1

Rule 2: If x_1 is A_{21} and x_2 is A_{22} then y is B_2

ここで、変数 x_1 と x_2 は色彩であり、変数 y は品質評価のカテゴリに対応する。 A_{ij} と B_i はファジィラベルである。色彩の測定値 x_{1*} と x_{2*} が与えられる場合、評価結果は次のプロセスを経て得られる。

Process 1 各規則の適合度を計算する。

$$w_1 = A_{11}(x_{1*}) \wedge A_{12}(x_{2*}), w_2 = A_{21}(x_{1*}) \wedge A_{22}(x_{2*})$$

Process 2 各規則で minimum 演算される (頭切り)。

$$B_1^*(y) = w_1 \wedge B_{1+}(y), B_2^*(y) = w_2 \wedge B_{2+}(y)$$

Process 3 全規則の後件部集合を重ね合わせて maximum 演算される。

$$B^*(y) = B_1^*(y) \vee B_2^*(y)$$

Process 4 後件部集合の重心を求め、確定値 y^* を得る。

$$y^* = \frac{\int y B^*(y) dy}{\int B^*(y) dy}$$

以上の方法によりファジィ推論結果を得るが、ふぐ処理師の評価結果とモデルの推論結果が異なる場合は、前件部変数の MF をチューニングして推定精度を高めるものとした。

実験結果と考察

1) 品質評価と体表の色彩の関係

トラフグの品質評価には全般的に体表の色度 a^* と 2 点間の色度の差 Δa^* が反映する傾向を示す。これらの色彩は身欠き処理前の試料の状態、身欠き処理の丁寧さ、身欠き処理後の水洗の丁寧さ、身欠きの肉厚と乾燥の進行に伴う魚肉の経時的な変性を表し得る⁶⁾。

マフグの品質評価には全般的に体表の明度 L^* と 2 点間の色度の差 Δa^* が反映する傾向を示している。これらの色彩はトラフグと同様に身欠き処理の丁寧さ、水洗、身欠きの肉厚と乾燥の進行に加え、身欠き処理前の試料の生死と死後の経過時間、即ち鮮度が反映される⁷⁾。

Table 2 に判別分析を行った後、ふぐ処理師との協議を経て最も適切と判断したファジィ推論モデルの前件部変数

の組み合わせを示す。前報⁷⁾においてマフグの色彩の変数の組み合わせの根拠は既に報告した。また、トラフグの色彩の組み合わせについては文献⁶⁾で主に鮮度を反映する指標と身欠き処理の丁寧さを表す指標の組み合わせの可能性

があることを示唆した。よって本報ではトラフグの身欠きを対象として身欠き処理の丁寧さを表す指標として背部(L1-C2)の明度L*を、また鮮度を反映する指標として腹部内の色度差 Δb^* について考察する。

Table 2. Colors used for the antecedent variables (elapsed 1 hour after experiments started).

(a)Tiger puffer	[mean \pm standard deviation]				
Antecedent variables	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
(L1-C2),L*	51.79 \pm 4.29	50.92 \pm 2.96	51.28 \pm 3.73	50.82 \pm 4.08	51.65 \pm 4.53
(L2-C4), a*	0.41 \pm 1.85	0.07 \pm 1.15	- 0.11 \pm 0.99	0.16 \pm 1.09	0.24 \pm 1.77
(L3-C1), a*	- 1.40 \pm 0.51	- 1.21 \pm 0.69	- 1.18 \pm 0.82	- 0.91 \pm 0.81	- 0.94 \pm 0.73
{(L3-C1) - (L3-C2)}, Δb^*	- 0.39 \pm 1.85	- 0.50 \pm 1.99	- 0.34 \pm 1.74	- 0.45 \pm 1.87	- 0.40 \pm 2.10

(b) Purple puffer	[mean \pm standard deviation]				
Antecedent variables	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
(L2-C3), L*	55.47 \pm 3.84	54.50 \pm 3.50	55.48 \pm 3.33	60.83 \pm 4.74	61.65 \pm 4.80
(acL3-C1), C*ab	3.79 \pm 0.85	3.52 \pm 0.97	3.45 \pm 0.82	3.75 \pm 0.94	3.10 \pm 0.89
{(L1-C1)-(L2-C1)}, Δa^*	- 0.55 \pm 0.97	- 0.86 \pm 1.09	- 0.87 \pm 0.94	0.19 \pm 1.41	0.09 \pm 1.11
{(acL3-C1) - (acL3-C2)}, ΔL^*	- 4.32 \pm 3.33	- 4.06 \pm 4.17	- 3.05 \pm 4.94	6.78 \pm 9.16	6.91 \pm 8.45

背部 (L1-C2) の明度 L*

Fig. 4に背部(L1-C2)の明度L*の経時変化の様子を示す。1時間経過時の背部中央(L1-C2)の色彩は全群、青みの灰色を呈している。各群間における色差 ΔE^*ab は0.26から2.95の範囲にあり、評価の低い群(第4群、第5群)と他の群との間で拡大する傾向があった。また、第1群と第5群との色差 ΔE^*ab が群間における最大値となり、両群の試料魚を並べて比較すると感知しうるほどに異なる。これはつぎに述べるとおり明度の差 ΔL^* に起因するものである。第1群の色彩は全試料の平均で明度L* = 53.76、色度a* = - 1.11、色度b* = - 3.50であり、第5群では明度

L* = 50.90、色度a* = - 0.91、色度b* = - 4.17を示した。よって両群における背部中央(L1-C2)の色差 ΔE^*ab には明度の差 ΔL^* が最も貢献している。背部中央(L1-C2)は背鰭に近い、身欠き処理において皮を剥ぐ際に表面の内側にある薄皮(真皮)が僅かに残り易い箇所、この薄皮が残る場合に明度L*は低下する。背部中央(L1-C2)の明度L*と魚肉鮮度K値の間には何れの群にも関連が確認されなかった。以上からふぐ処理師は背部中央の薄皮の残りの有無とその程度、即ち身欠き処理の丁寧さを評価しているものと考えられる。

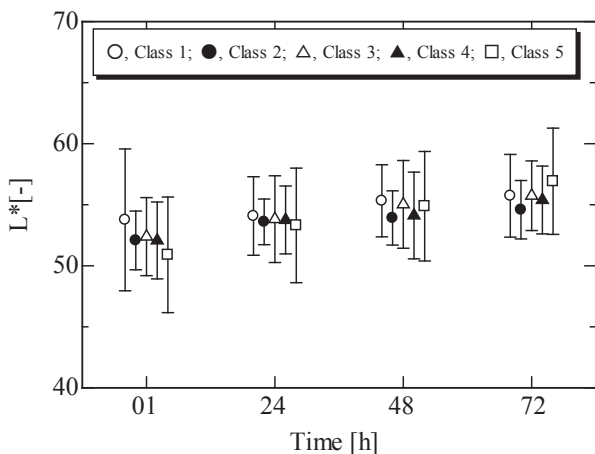


Fig. 4. Changes in lightness L* at dorsal region (L1-C2).

腹部内 {(L3-C1)-(L3-C2)} の色度差 Δb^*

1時間経過時の全試料の腹部の彩度C*abの平均は3.23となり、他の部位と比較すると有意(P < 0.01)に高い。腹部の頭部寄り(L3-C1)の色彩は明度L*が48.97から50.85、色度a*が- 1.30から- 0.92、色度b*が- 3.59から- 2.98の範囲にある。また、腹部の中央(L3-C2)の色彩は明度L*が53.72から58.16、色度b*が- 3.02から- 2.11の範囲に分布する。色彩は両点とも青みの灰色を呈している。1時間経過時における腹部の頭部寄り(L3-C1)の群間の色差 ΔE^*ab の最大は1.95であり、第1群と第5群との間の比較であった。また、各測定時における群間の色彩の比較では、色度a*のみが72時間経過時迄継続して評価の高い群と評価の低い群との間で母平均の有意差を示し、か

つ第1群の色度 a^* が最小となった。身欠き処理後の腹部は他の部位と比べて肉厚が薄く、特に腹部の頭部寄り (L3-C1) が最も薄くなる。

Fig. 5 に腹部内 (L3-C1) と (L3-C2) の色度 b^* の経時変化の様子を示す。腹部内 {(L3-C1)-(L3-C2)} の色度の差 Δb^* の経時変化にはほぼ群順位を反映するが、評価の高い群が徐々に低下することから群間差が縮小する傾向が見受けられる。2時間経過時における腹部の頭部寄り (L3-C1) の色度 b^* は第1群が最大で、群順位の低下に伴って低くなる傾向が見られた。一方、腹部の中央 (L3-C2) の色度 b^* では群間における平均の差異は確認されなかった。よって、群間における腹部内 {(L3-C1)-(L3-C2)} の色度の差 Δb^* には腹部の頭部寄り (L3-C1) が強く反映するものと言える。

以上の腹部の頭部寄り (L3-C1) の色彩の差は前述したとおり身欠き処理の肉厚に起因するもので、この部位は身欠き処理前のトラフグの放置状態、身欠き処理後の水洗等の丁寧さおよび乾燥の進行に伴う魚肉の変成の程度等が最も身色に反映し易くなる箇所と言える。よってふぐ処理師は腹部のこれらの色彩を確認することで品質を見定めるものと考えられる。

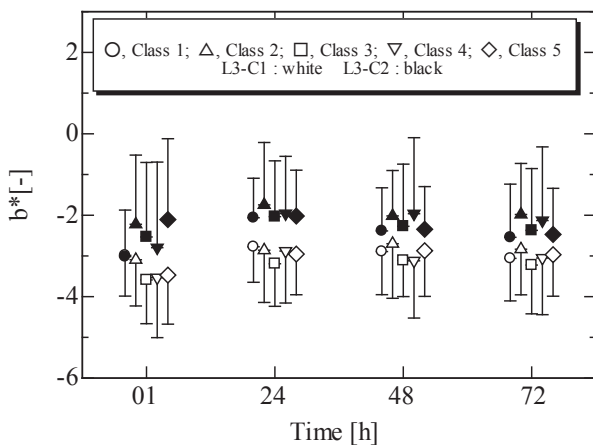


Fig. 5. Changes in difference of chromaticity b^* between measuring points of abdominal region (L3-C1) and (L3-C2).

2) 品質評価と魚肉鮮度の関係

Fig. 6 に1時間経過時におけるトラフグとマフグの魚肉鮮度 K 値の経時変化の様子を示す。

1時間経過時におけるトラフグの K 値は全試料で 1.32% から 6.74% 迄の非常に狭い範囲を示した。これは一般の即殺魚の目安である 5%⁹⁾ と比較すると低い値と言える。これは試料 1 尾あたりの身欠き処理の時間が 3 分程度と非常に短いこと、内臓を除去していること、身欠き処理後に素速

く水洗し、出荷までを低温で冷蔵保管して筋肉酵素や細菌酵素による分解を進み難くしていることに起因するものと考えられる。即ち、ふぐ処理師の熟練した技と品質管理についての意識の高さが品質に貢献するものである。K 値は群順位に伴いやや上昇する傾向を示した。しかし、各群間の有意差は確認されなかった。分析対象は養殖トラフグで活きた状態の試料であり、極めて厳しく品質管理された環境下では、K 値が低く群間差も僅かとなること、また既に述べたとおり、ふぐ処理師の品質評価には身欠き処理の丁寧さが反映することに起因するものと考えられる。

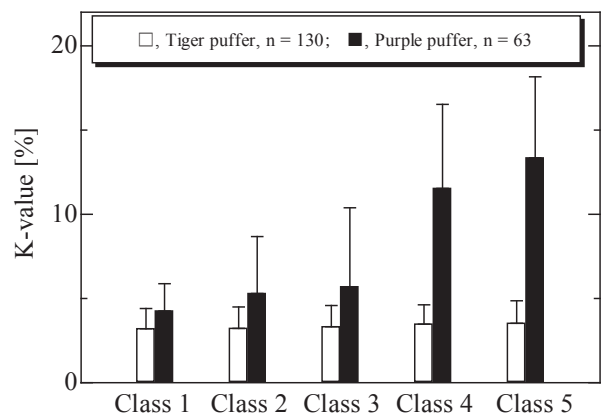


Fig. 6. K values (elapsed 1 hour after experiments started).

1時間経過時におけるマフグの K 値は全試料で 1.86% から 22.0% 迄を示した。トラフグ同様にマフグの K 値も群順位に伴い K 値は上昇する傾向を示した。分散分析と多重比較の結果、各経過時間において評価の高い群 (第1群~第3群) と評価の低い群 (第4群、第5群) との全組合せの間に有意差 ($P < 0.01$) が確認された。しかし、評価の高い群間と評価の低い群間では共に有意差が確認されなかった。これらのことから、ふぐ処理師の品質評価には魚肉鮮度が良好に反映すること、またふぐ処理師は評価に際してまず鮮度の良否により二分し、その後各クラスに細分していることが推察される。

3) 品質評価と魚肉のかたさの関係

Table 3 に1時間経過時におけるトラフグとマフグの魚肉のかたさの一覧を示す。

トラフグの魚肉のかたさは全試料で 37.5MPa から 118.6MPa 迄の範囲に分布し、平均は 75.1MPa であった。各群間の多重比較の検定は何れも有意とはならなかった。また、品質評価との対応を示す顕著な傾向も確認されなかった。

Table 3. Texture of fish meat.

Categories	[mean ± standard deviation]	
	Tiger puffer Texture (MPa)	Purple puffer Texture (MPa)
Class1	73.39 ± 13.45	38.44 ± 7.02
Class2	72.83 ± 15.85	47.23 ± 5.39
Class3	81.04 ± 18.96	54.91 ± 7.43
Class4	76.47 ± 17.64	47.32 ± 3.40
Class5	71.76 ± 19.71	55.21 ± 10.87

マフグの魚肉のかたさは全試料で 31.55MPa から 68.53MPa 迄の範囲に分布し、平均は 48.77MPa であった。各群の母平均を比較した結果、何れの群間にも有意差は確認されなかった。

魚肉 100g 中におけるトラフグとマフグの標準的な水分とタンパク質の合計は同じく 98.2g¹⁵⁾ を占めており、イサキ¹⁶⁾ やマアジ¹⁷⁾ 等の一般的な魚種のものと比較すると水分含量が高い。魚肉の硬直の進行は魚種毎に異なるが、これは主に魚肉成分の構成に由来するものである。本実験中に試料の硬直の進行を確認したところ、触手により硬直開始が確認できたのはおよそ 4 時間から 5 時間経過時以降であった。よって、ふぐ処理師が試料を品質評価した際には未だ触感で判る程度には硬直は進んでおらず、また魚肉の

成分構成によりかなり柔らかい印象を受けることから、品質評価には魚肉のかたさが反映しないものと推察する。

ファジィ推論モデル

Fig. 7 にチューニング後の MF の構造を示す。また、式 (8) にトラフグのファジィ規則を例示する。

Rule 1 If $L1-C2(L^*)$ is LO and $L2-C4(a^*)$ is LO and $L3-C1(a^*)$ is VL and $L3-C1 - L3-C2(Δb^*)$ is HI then $Class$ is 1 .

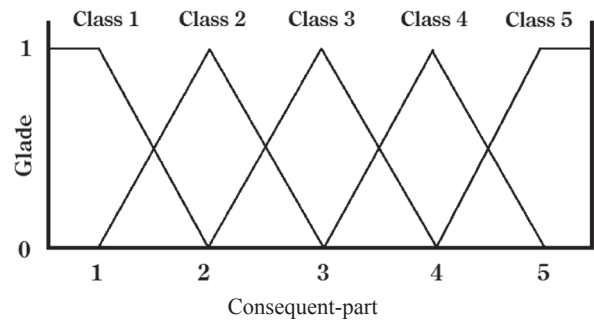
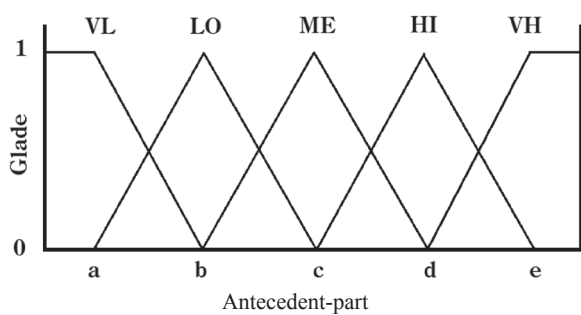
Rule 2 If $L1-C2(L^*)$ is HI and $L2-C4(a^*)$ is LO and $L3-C1(a^*)$ is VL and $L3-C1 - L3-C2(Δb^*)$ is VH then $Class$ is 1 .

・
・
・

Rule 118 If $L1-C2(L^*)$ is VL and $L2-C4(a^*)$ is ME and $L3-C1(a^*)$ is VL and $L3-C1 - L3-C2(Δb^*)$ is VL then $Class$ is 5 .

.....(8)

トラフグのファジィ規則の総数は 118 個またマフグは 162 個であった。Table 4 にモデルの評価結果を示す。評価結果はふぐ処理師の品質評価の解析とモデルの設計迄に使



Tiger puffer					
Measuring points	a	b	c	d	e
(L1-C2), L^*	48.09	50.16	52.24	54.32	56.40
(L2-C4), a^*	- 0.68	- 0.15	0.38	0.91	1.44
(L3-C1), a^*	- 1.66	- 1.38	- 1.10	- 0.82	- 0.54
{(L3-C1) - (L3-C2)}, $Δ b^*$	- 2.66	- 1.73	- 0.80	0.13	1.06
Purple puffer					
Measuring points	a	b	c	d	e
(L2-C3), L^*	52.63	55.11	57.60	60.09	62.57
(acL3-C1), C^*ab	2.42	2.92	3.43	3.94	4.45
{(L1-C1)-(L2-C1)}, $Δ a^*$	- 1.84	- 1.19	- 0.53	0.12	0.78
{(acL3-C1) - (acL3-C2)}, $Δ L^*$	- 7.83	- 3.76	0.32	4.40	8.48

Fig. 7. Membership functions for inferring the quality of dressed puffers.

Table 4. Result of models evaluation.

(a) Tiger puffer		Estimation by fuzzy model				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cook's evaluation	Class 1	21	3	2	0	0
	Class 2	1	21	4	0	0
	Class 3	0	0	23	3	0
	Class 4	0	0	1	25	0
	Class 5	0	0	0	2	24
(b) Purple puffer		Estimation by fuzzy model				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cook's evaluation	Class 1	24	8	6	0	0
	Class 2	0	42	4	0	0
	Class 3	1	2	44	2	0
	Class 4	0	1	4	33	4
	Class 5	1	0	2	7	30

用した試料に対して行ったシミュレーションと、設計後にモデルの評価とチューニングのために行った評価実験の双方を併せたものである。

トラフグにおけるシミュレーションでは80尾中69尾が品質評価と推論結果が一致し、評価実験では50尾中45尾が一致した。従って品質評価と推論結果が一致した割合は87.7%となった。誤推定されたものは2尾が隣群より離れており、その他は隣群への推定となった。

マフグにおけるシミュレーションでは130尾中105尾が品質評価と推論結果が一致し、評価実験では85尾中68尾が一致した。従って品質評価と推論結果が一致した割合は80.5%となった。マフグの誤推定は1尾が4群ほど離れたもの、10尾が2群ほど離れたもの、その他は隣群への推定となった。

誤推定の理由としては、前件部変数の構成が重複してしまったことがあげられる。しかし、何れのモデルも80%以上一致しており、有用性が高いものと考えられる。マフグがトラフグより推論結果が劣る理由としては、マフグは天然物であることから餌の多様性に魚体の色彩が影響を受け易いこと、魚価が低く出荷量も少ないこと等に起因するものと考えられる。

結言

本研究では下関の老舗仲卸のふぐ処理師を対象として、

トラフグ身欠きとマフグ身欠きの品質評価を解析すると共に、ファジィ推論を用いて品質評価のモデル化を試みた。その結果、ふぐ処理師が注視するのはトラフグにおいては背部中央、尾鰭、腹部の色彩であり、またマフグでは腹腔、体幹部の尾鰭寄り、背部と体幹部の頭部寄りの色彩であることがわかった。これらは主に身欠き処理の丁寧さと身欠き処理後の経過時間(鮮度)を表し得る指標であり、これらの色彩に着目することでふぐ処理師のマフグに対する品質評価を表し得ることを示した。ふぐ処理師の品質評価のモデル化には両魚種とも計4個の色彩の組み合わせで可能となること、モデルの推定結果とふぐ処理師の品質評価はいずれも80%以上が一致し、有用性が高いことを示した。しかし誤推定の程度が大きいものもあることから試料数を増やして再度チューニングすることにより確度の高いモデルを構成したい。

我が国では2012年10月より東京都で身欠きフグに対する規制が緩和された。よって、熟練した下関のふぐ処理師の技術をモデル化して品質管理に活用することを一つの手段として、世界における食の安全と日本の魚食文化の普及に貢献したい。

謝辞

本研究にご協力いただいた株式会社酒井商店の酒井一社長と商店の皆様へ感謝いたします。

本研究はJSPS 科研費 25330302 の助成を受けたものです。

文献

- 1) 海沼勝：新ふぐ調理師必携（上巻）知識編・試験編．柴田書店，東京，30-35 (2008)
- 2) 環境衛生局長通知：フグの衛生確保について．厚生労働省，(1983)
- 3) Nakamura M, Ohta H, Morimoto E, Ezoe S, Harada K: Quality estimation model of White chestnut (*Logocephalus wheeleri*) by auctioneers. *Fisheries Engineering*, 45(2), 119-128 (2008)
- 4) 中村誠，太田博光，森元映治，江副覚，松本佳祐：下関トラフグ身欠きの熟練的品質評価のモデル化について．*人間工学*，46(特別号)，216-217 (2010)
- 5) 中村誠，中村堯史，太田博光，平雄一郎，森元映治，前田俊道：マフグ身欠きの熟練的品質評価に関する基礎的検討．*日本人間工学会中国・四国支部，九州・沖縄支部合同開催支部大会講演論演文集*，128-129 (2011)
- 6) 中村誠，太田博光，平雄一郎，森元映治，江副覚，前田俊道，中村堯史：下関トラフグ身欠きの熟練的品質評価の解析．*人間工学*，48(6)，304-312 (2012)
- 7) 中村堯史，中村誠，太田博光，明田川雅子，前田俊道，平雄一郎，森元映治：マフグ身欠きの熟練的品質評価の解析．*水産大学校研究報告*，第 61 巻 (4)，212-219 (2012)
- 8) Saito, T., Arai, K. and Matsuyoshi, M.: A new method for estimating freshness of fish, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 24(9), 749-750 (1958)
- 9) 渡邊悦生：魚肉の鮮度と加工・貯蔵．*成山堂書店*，東京，61-80 (1998)
- 10) 太田博光，中村誠，江副覚，森元映治：フグ肉の動特性に基づいた非破壊食感評価法．*日本設備管理学会誌*，19(2)，30-35 (2007)
- 11) Fujii, R: Cytophysiology of fish chromatophores. *Int. RevCytol.*, 143, 191-255 (1993)
- 12) 山中英明：魚介類の死後変化と品質．*日本水産学会誌*，68(1)，5-14 (2002)
- 13) Whyte, S., K.: The innate immune response of finfish –A review of current knowledge. *Fish Shellfish Immunol.* 23(6), 1127-1151 (2007)
- 14) Mamdani. E. H. : Application of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant, *Proceedings of IEEE*, 121, 1585-1588 (1974)
- 15) 文部科学省：五訂増補日本標準成分表．食品コード 10237 (2005)
- 16) 中村誠，太田博光，森元映治，江副覚，前田俊道，三好佳廣：鮮魚の熟練的品質評価の解析－有彩色魚種の外観評価について－．*人間工学*，45(2)，118-125 (2009)
- 17) 中村誠，太田博光，平雄一郎，森元映治，江副覚，前田俊道，三好佳廣：鮮魚の熟練的品質評価の解析－彩度の低い魚種の外観評価について－．*人間工学*，48(3)，142-149 (2012)