ファジィ推論を用いたフグ類 身欠きの熟練的品質評価モデル†

中村 誠*1・太田 博光*2・鴻上 健一郎*1・

明田川 雅子*1・徳永 憲洋*2・前田 俊道*1

本研究では、習熟したふぐ処理師によるフグ類の身欠きの品質評価を解析して、ふぐ処理師の品質評価に相当するモデルを組み込んだシステムを提案することを目的とする。試料にはふぐ処理師により計5群に品質評価された天然トラフグ80尾、養殖トラフグ250尾、マフグ230尾の身欠きを用いた。ふぐ処理師による品質評価、魚体の色彩および魚肉鮮度の関係を解析した結果、ふぐ処理師の品質評価には魚肉鮮度が良好に反映し、各身欠きの評価では各々計4個の体表の色彩を組み合わせることで表現可能となることがわかった。次に、これら4個の色彩指標を前件部変数に定めたファジィ推論モデルを作成して評価した結果、ふぐ処理師の品質評価とモデルによる推論結果の一致率は80%以上を得た。よって、身欠きの品質評価システムに習熟したふぐ処理師の知識を組み込むことの有効性が示された。

キーワード：フグ類身欠き、ふぐ処理師、品質評価、モデル化、ファジィ推論

1. 緒言

わが国ではフグ毒による事故を防止することを目的として食用に供することが可能な魚種とその部位、漁獲海域等を法律で規定している[1]。フグを重要魚種に指定する山口県では、「フグの取扱いを「ふぐの処理の規制に関する条例」の「販売と処理の制限」で極めて厳しく規制している[2]。これを背景として、古くからフグの集散基地を抱えている下関ではふぐ処理師の技に磨きがかかり、「フグの本場」というブランドを長年維持することに貢献している。しかし、近年では長引く市況の低迷や国民の魚食離れによりフグ料理の需要も落ち込み、それに伴ってふぐ処理師の数も減少する傾向にある。一方、フグ料理の需要が高い東京都では、フグ加工品の流通における規制を実態にあわせて緩和し[3]、一定の条件を満たす場合に限りふぐ処理師以外の者でも加工品を取り扱うことが可能となった。ここで一定の条件とは、都道府県知事からフグを処理

することの許可を得たふぐ処理師などが所定の処理施設で身欠き処理をしたもの、また加工品とは内臓などの有毒部位を確実に除去したうえ、皮を剥いだ身欠きを指す。よって、現在ではふぐ処理師の数が減少傾向にあるものの、規制の緩和によりふぐ処理師の活躍する場は拡大する状況にある。このことから、フグ料理の安全性を確保する意味でも、何らかの手段を講じて熟達したふぐ処理師の技と知見を継承していく必要がある。

熟達した職人の技のモデル化にはソフトコンピューティングの導入が適していると考えられる。しかし、水産業関連分野では、カキの鮮度判別[4-6]、水産乾製品を製造する乾燥システム[7, 8]、魚市場の競り人による鮮魚の外観評価のモデル化[9, 10]など、ソフトコンピューティングの導入はごく一部を除いて進んでいない。一方、水産物の品質の分析に目を向けると、一般に水産物の生化学的鮮度指標にはK値[11]が用いられている。この指標は生前の魚肉中にエネルギー源として存在するATP(アデノシン三リン酸)が、死後急速に分解してHxR(イノシン)とHx(ヒポキサンチン)とが増加することに着目したもので、ATP関連化合物の総量に占めるHxRとHxとの割合から鮮度の程度を表すものである。一般にK値は5%以下が即殺魚、20%以下が生食可、20%から60%の範囲では加熱調理をした方がよいという目安を与える[12]。しかし、K値を得るには魚肉の採取が必要であること、中和処理

† Quality Evaluation Models of the Dressed Puffers (Migaki) by Skilled Cooks Using Fuzzy Inference
Makoto NAKAMURA, Hiromitsu OHTA, Kenichiro KOGAMI, Masako AKETAGAWA, Kazuhiro TOKUNAGA and Toshimichi MAEDA

*1 独立行政法人水産大学校水産学研究科
Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University

*2 独立行政法人水産大学校海洋機械工学科
Dept. of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University

やクロマトグラフィーなどの分析過程を経るため長時間を要すること、多くの分析機器類を必要とすることなどが起因して、生鮮度を競う現場では必ずしも普及していない状況にある。

熟達したふぐ処理師は豊富な経験を基に身欠きの外観から即座に品質を見積もる。そこで著者らは、身欠きの流通における安全性の確保と品質管理の水準の維持を目的として、ふぐ処理師による品質評価の解析とモデル化を行い、ふぐ処理師と同程度の品質推定を迅速かつ非破壊で行うシステムの構築を目指している[13~16]。本報では、先ず「ふぐの王様」と呼ばれるトラフグ(学名: *Takifugu rubripes*, 英名: Tiger puffer, 天然と養殖)と「女王様」と呼ばれるマフグ(学名: *Takifugu porphyreus*, 英名: Purple puffer, 天然)の身欠きを試料として、ふぐ処理師の品質評価、魚体体表の色彩および魚肉鮮度の関係を解析した結果について述べる。次に、ふぐ処理師の品質評価に相当するファジィ推論モデルの設計を試みて有用性を評価したので、この結果について報告する。なお、ふぐ処理師による養殖トラフグの身欠きの品質評価の解析結果については既に文献[17]で報告した。また、ふぐ処理師の品質評価には魚肉のかたさは反映しないことも示した[14, 16-18]。よって本報では、ふぐ処理師による身欠きの品質評価の解析結果については天然トラフグとマフグを主として述べるものとする。

2. 方法

2.1 実験

(a) ふぐ処理師と試料魚

解析の対象とするふぐ処理師は下関市内の老舗ふぐ仲卸に勤務する50代の男性2名(経験年数33年と28年)とした。

試料魚には下関市地方卸売市場南風泊市場で競りにかけられた天然トラフグを80尾、養殖トラフグと天然マフグ(以下、マフグと記す)を各々250尾と230尾ほど用いた。この内、天然トラフグ60尾、養殖トラフグとマフグ各100尾を品質評価の解析、モデル設計とチューニングに使用し、残りをモデルの評価実験に用いた。なお、天然トラフグに対しての実験は2012年6月から2013年7月にかけて計3回、養殖トラフグ

は2009年2月から2012年5月にかけて計17回、またマフグでは2009年4月から2012年5月にかけて計12回に分けて行った。表1に身欠き処理後の頭部を除いた試料魚の概要を示す。試料魚の身欠き処理は対象としたふぐ処理師が中心に行った。身欠き処理に要する時間は1尾あたり3分弱であった。

(b) ふぐ処理師による品質評価と試料片

試料魚の品質は、身欠き処理後の水洗いを経て約8時間ほど温度2℃で冷蔵した後、ふぐ処理師2名が同時に評価した。両者の評価が異なる場合には、経験年数33年のふぐ処理師の意見を尊重するものとした。品質の評価尺度は計5段階として、評価の高いものから順に第1群(Class 1: 優)、第2群(Class 2: 良)、第3群(Class 3: 並み)、第4群(Class 4: やや劣る)および第5群(Class 5: 劣る)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群が仲卸が扱う標準的なもの、また第5群は鮮度と見栄えの両面で極めて劣るものとした。第2群と第4群はそれぞれ隣接する群との中間程度の品質と定めた。図1に試料片の様子を示す。試料は身欠きを二枚に下ろした後に、背骨と尾鰭が付いた側を体表の色彩の測定に用い、またもう一方の側を二分割した試料片を各々魚肉のかたさと魚肉鮮度K値の測定に供するものとした。

図1 試料片

図2 色彩の測定点

表1 身欠き処理後の試料魚の概要 [mean ± SD]

Species	Length [mm]	Weight [g]	n
Tiger puffer (natural)	255.5 ± 14.6	257.8 ± 39.2	80
Tiger puffer (cultured)	246.3 ± 16.4	196.3 ± 34.2	250
Purple puffer	254.4 ± 28.1	232.6 ± 75.0	230

(c) 体表の色彩測定

図2に各試料の体表の色彩の測定点を示す。測定点は背部、体幹部、尾鰭、腹部および腹腔の各部位の色彩が測定できるように、先ず肛門を通る列C2を定め、体幹部上にこれと直交する行L2を設けた後、列C2と平行かつ等間隔になるように列C1と列C3を定めた。次に、背部上行L2に平行となる行L1を、また腹部には切り口に沿って約5mm離れたところに行L3を設けた。尾鰭の測定点は行L2上に、腹腔の測定点は列C1と列C2との間隔を保つように定めた。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 L*a*b*表色系に規定される明度指数L*、色度座標a*、b*(以下、色度a*、b*とよぶ)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hab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)により計算した。これらの色彩指標はCIEにより3次元の近似的均等色空間において定義される心理メトリック量であり、JISにおいても規格化されている[19, 20]。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(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。

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

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

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

ここで、Δは2点の測定点間の値の差を表す。

(d) 魚肉の鮮度測定

魚肉の鮮度指標には、最も一般的な生化学的な鮮度指標であるK値を用いた。式(4)にK値の計算式を示す。

$$K \text{ value} = \frac{100 \times (HxR + Hx)}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \quad [\%] \quad (4)$$

K値の測定に用いる試料は天然トラフグが第1群から第5群迄の各群から16尾で計80尾、養殖トラフグとマフグが各群20尾で計100尾と定めて、それぞれを無作為に抽出した。K値の測定法にはHPCL(high

performance liquid chromatography)法を用いるものとし、試料の調整方法には過塩素酸抽出法を適用した[21]。なお分析用の試料肉は1尾あたり1gとして、各測定時毎に採取した。

(e) 測定時間と環境条件

これらの測定指標のうち体表の色彩とK値の測定は、身欠き処理から消費者に届く迄の期間を考慮して、試料入手後1時間(身欠き処理後約8時間経過時、以下、1時間経過時とよぶ)、24時間、48時間および72時間の各経過時と定めた。なお、体表の色彩の測定とK値分析における中和処理迄は温度を約12.0℃、湿度を50%RH程度、照度を約300lxに保った恒温室内で行うものとした。また、実験期間中の試料は発泡スチロール製の容器に氷納して温度を約2.0℃に保った冷蔵庫に保管した。

2.2 解析

身欠きに対するふぐ処理師の品質評価と魚肉鮮度K値との関係については、各測定時間におけるK値の基本統計量を求めた後、評価群を5水準、測定時間を4水準とする二元配置の分散分析により確認するものとした。分析では等分散性の検定にルービン検定を、また多重比較の検定にはシェッフエの検定を用いた。なお、等分散性が棄却された場合には、改に評価群と測定時間に対してクラスカル・ウォリスの検定を行うものとした。

解析に用いる体表の色彩は、次の第1)項～第4)項に定める計29点とした。

- 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、例：体幹部内(L2-C1)-(L2-C3)}
- 4) 部位間の2点の測定点間の差
{計9点、例：背部-腹部間(L1-C2)-(L3-C2)}

ふぐ処理師の品質評価と体表の色彩との関係は、先ず各評価群の色彩とK値についての相関分析と無相関の検定により確認した。次に、前述の品質評価とK値との関係の解析と同様に、二元配置の分散分析と多重比較を行い、品質評価に対する体表の色彩の影響を確認するものとした。

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した。式(5)に判別関数の基本式を示す。

$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (5)$$

ここで、 Z は判別関数、 x_i は説明変数、 a_0 と a_i はそれぞれ定数と判別係数である。説明変数には、主に先の K 値との相関分析で関連が確認された体表の色彩のうち、分散分析と多重比較により24時間経過時迄継続して有意差($P<0.01$, 又は $P<0.05$)を有するものを用いた。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、判別率70%以上を得た判別分析式のうち、魚肉の硬直、解硬および腐敗などの変性に伴う体表の色彩の挙動[22, 23]、体表の保水性と粘性の経時的変動[24, 25]など、およびふぐ処理師の意見を考慮して、品質評価を最も良く反映するものを絞り込み、品質評価の構造を検討するものとした。

2.3 モデル化と評価実験

ファジィ規則の前件部変数には、先の判別分析で絞り込んだ判別分析式の説明変数の組合せを用いるものとした。また、後件部変数には品質評価のカテゴリーを定めた。各変数は各々5個のメンバーシップ関数で構成した[7]。モデルの推定精度を高めるためにシミュレーションを繰り返してメンバーシップ関数の形状をチューニングした。なお、確定演算方式にはmin-max 重心法[26]を用いた。

また、モデルの有用性を検討するために天然トラフグを20尾、養殖トラフグとマフグを各々150尾ほど用いて評価実験を行うものとした。

3. 結果と考察

3.1 品質評価と魚肉鮮度、体表の色彩の関係

(a) 魚肉鮮度

図3に1時間経過時における天然トラフグとマフグの身欠きの魚肉鮮度 K 値を示す。天然トラフグの身欠きの各群の K 値の平均は3.10から19.14の範囲にあり、群順位の低下に伴い上昇した。群間の比較では、第5群と第1群から第4群迄との間でのみ有意差($P<0.01$)が確認された。一方、マフグの身欠きの1時間経過時の K 値の平均は4.26%から13.35%の範囲にあり、良好に群順位を反映した。また、群間の比較では第1群と第4群および第5群との間、第2群と第5群との間、第3群と第5群との間に有意差($P<0.01$)が、加えて第2群と第4群との間、第3群と第4群との間にも有意差($P<0.05$)が確認された。

天然トラフグの第1群から第4群迄の K 値は養殖トラフグ[17]や一般の即殺魚[27~29]の場合と同様に極めて低く、鮮度に十分な差違が生じていないことに対して、第5群では他の群と比較して1時間経過時には既に体表の色彩で鮮度劣化の程度を確認できる状態

図3 魚肉鮮度 K 値 (1時間経過時)

であったと考えられる。同様に、マフグでも K 値の分布に幅があることから、既に鮮度の程度を十分に評価することが可能であったと言える。天然トラフグの第1群から第4群迄は養殖トラフグ[17]の場合と同様に、市場で競りにかけられる前迄は活きた状態で適切に品質管理をされていたものであり、これらの試料の群間における K 値の若干の差には、主に身欠き処理の順序や冷蔵に至る迄の扱いに因る経過時間の差違などが影響したものと推察する。一方、天然トラフグの第5群とマフグの多くは身欠き処理の段階で既に死後の状態にあり、これらの K 値の上昇、即ち魚肉鮮度の劣化は漁獲後の天然物の品質管理の難しさに起因するものである。

よって、ふぐ処理師の品質評価には魚肉鮮度が良好に反映していることから、ふぐ処理師は身欠きの外観から高い確度で鮮度を見積もるものと推察する。

(b) 体表の色彩

表2に天然トラフグとマフグの1時間経過時における各測定点の色彩の一覧を、また図4に両魚種の尾鰭(L2-C4)を除いた体表の色彩の平均の分布を示す。

天然トラフグの尾鰭を除く全試料の色彩の平均は明度 $L^*=50.82$ 、色度 $a^*=-1.58$ 、色度 $b^*=-1.90$ 、彩度 $C^*ab=3.31$ となり、体表全体の平均では「青みの灰色」を呈した。色彩の各指標間では色度 a^* と色度 b^* の間に正の相関($r=0.524$, $P<0.01$)が、また彩度 C^*ab と色相角 h の間にも正の相関($r=0.578$, $P<0.01$)が確認された。明度 L^* と彩度 C^*ab の間には関連がみられなかった。一方、マフグの尾鰭を除く全試料の色彩の平均は明度 $L^*=53.59$ 、色度 $a^*=0.08$ 、色度 $b^*=-1.64$ 、彩度 $C^*ab=3.58$ となり「灰色」であった。色彩の各指標間では明度 L^* と色度 a^* の間に負の相関($r=-0.330$, $P<0.01$)が、また明度 L^* と彩度 C^*ab

との間にも弱い負の相関($r=-0.224$, $P<0.01$)が確認された。両魚種の色彩は背部の頭部寄り(L1-C1)、体幹部の頭部寄り(L2-C1)と尾鰭寄り(L2-C3)、尾鰭(L2-C4)および腹部中央(L3-C2)の計5箇所では魚種間の色差 ΔE^*ab が1.50以上となり、並べて比較すると少なくとも「感知し得るほどに異なる」ものとなった。これらの色差 ΔE^*ab には、主に明度 L^* と色度 a^* の違いが貢献した。

表3に天然トラフグとマフグの身欠きに対するふぐ

表2 試料魚の色彩(1時間経過時)

(a) 天然トラフグ [mean $\pm$ SD]					
Measuring points	L^*	a^*	b^*	Colors	
L1-C1	51.96 $\pm$ 2.61	-0.74 $\pm$ 0.62	-1.36 $\pm$ 1.30	medium gray	
L1-C2	51.05 $\pm$ 2.12	-0.99 $\pm$ 0.43	-3.06 $\pm$ 1.06	bluish gray	
L2-C1	54.83 $\pm$ 4.80	-0.85 $\pm$ 0.86	-0.71 $\pm$ 1.96	medium gray	
L2-C2	51.24 $\pm$ 2.71	-1.23 $\pm$ 0.51	-2.15 $\pm$ 1.30	purplish gray	
L2-C3	51.39 $\pm$ 3.45	-1.01 $\pm$ 0.38	-2.87 $\pm$ 2.13	medium gray	
L2-C4	26.75 $\pm$ 4.20	-0.30 $\pm$ 0.52	-0.21 $\pm$ 1.20	dark gray	
L3-C1	52.65 $\pm$ 3.55	-1.36 $\pm$ 0.48	-2.52 $\pm$ 1.23	bluish gray	
L3-C2	47.83 $\pm$ 3.55	-0.08 $\pm$ 1.12	-2.39 $\pm$ 0.95	bluish gray	
acL3-C1	46.84 $\pm$ 2.69	-1.12 $\pm$ 0.40	-3.17 $\pm$ 1.19	bluish gray	
acL3-C2	49.55 $\pm$ 3.34	-6.80 $\pm$ 1.69	1.16 $\pm$ 1.42	grayish red	

(b) マフグ				
Measuring points	L^*	a^*	b^*	Colors
L1-C1	56.21 $\pm$ 4.33	-0.83 $\pm$ 1.01	-1.62 $\pm$ 1.86	medium gray
L1-C2	53.68 $\pm$ 5.62	-1.49 $\pm$ 0.71	-3.48 $\pm$ 1.79	bluish gray
L2-C1	57.08 $\pm$ 5.49	-0.43 $\pm$ 1.14	1.58 $\pm$ 2.32	medium gray
L2-C2	53.48 $\pm$ 5.12	-1.19 $\pm$ 0.82	-1.55 $\pm$ 1.74	medium gray
L2-C3	57.59 $\pm$ 5.08	-0.79 $\pm$ 0.72	-3.76 $\pm$ 2.11	bluish gray
L2-C4	24.80 $\pm$ 3.58	-0.70 $\pm$ 1.06	3.24 $\pm$ 1.75	dark gray
L3-C1	54.07 $\pm$ 6.11	-1.42 $\pm$ 0.90	-1.66 $\pm$ 2.63	medium gray
L3-C2	52.51 $\pm$ 5.94	0.57 $\pm$ 1.70	-1.00 $\pm$ 1.55	medium gray
acL3-C1	49.77 $\pm$ 6.67	-1.33 $\pm$ 0.91	-2.66 $\pm$ 1.90	bluish gray
acL3-C2	49.32 $\pm$ 3.72	7.57 $\pm$ 2.07	-0.19 $\pm$ 1.81	grayish red

図4 体表の色彩の分布(1時間経過時)

処理師の品質評価の特徴と傾向が確認された指標、即ち二元配置分散分析と多重比較により24時間経過時まで継続して群間の有意差($P<0.01$, $P<0.05$)が確認された色彩の一覧を示す。表3中の下線を有する指標は24時間経過時迄にK値との関連($|r|>0.400$, $P<0.01$)が確認されたものである。多くの指標がK値との関連を示したことから、ふぐ処理師は体表の色彩により魚肉鮮度の程度を見積もっているものと言える。表3に示すとおり、ふぐ処理師による天然トラフグの品質評価には体中央列C2と頭部寄列C1上の色彩がよく対応し、また、品質評価には体表の明度 L^* 、彩度 C^*ab および2点間の彩度差 ΔC^*ab が多く反映する傾向が示された。一方、マフグの品質評価には頭部寄列C1上と腹腔の色彩がよく対応し、品質評価には全般的に体表の明度 L^* 、色度 b^* と色度の差 Δa^* がよく反映した。トラフグの有毒部位は精巢を除く内臓であり、またマフグではこれに皮が加わって総毒量は可食フグ類の中では最大とされる[30]。これらのふぐ処理師が注視する部位では、頭部寄りの魚肉の充血の程度から身欠き処理前の生死や保管の状況が、腹腔や腹腔膜の

表3 ふぐ処理師の品質評価の傾向と特徴が確認された体表の色彩(24時間経過時迄)

(a) 天然トラフグ	
Measuring points	Indices
Dorsal region (L1-C1)	<u>C^*ab</u>
Dorsal region (L1-C2)	<u>a^*</u> , <u>C^*ab</u>
Trunk part (L2-C2)	<u>L^*</u>
Trunk part (L2-C3)	<u>b^*</u> , <u>C^*ab</u>
Caudal fin (L2-C4)	<u>a^*</u>
Abdominal region (L3-C1)	<u>L^*</u>
Abdominal cavity (acL3-C2)	<u>L^*</u>
Trunk part (L2-C1)-(L2-C3)	<u>ΔL^*</u> , <u>ΔC^*ab</u>
Trunk part (L2-C2)-(L2-C3)	<u>Δb^*</u> , <u>ΔC^*ab</u>
Dorsal region - Trunk part (L1-C2)-(L2-C2)	<u>Δa^*</u>
Dorsal region-Abdominal region (L1-C1)-(L3-C1)	<u>ΔC^*ab</u>
Dorsal region-Abdominal region (L1-C2)-(L3-C2)	<u>Δb^*</u> , <u>ΔC^*ab</u>
Trunk part - Abdominal region (L2-C2)-(L3-C2)	<u>Δb^*</u>
Trunk part - Caudal fin (L2-C1)-(L2-C4)	<u>Δa^*</u>
Trunk part - Caudal fin (L2-C2)-(L2-C4)	<u>ΔL^*</u>
Trunk part - Caudal fin (L2-C3)-(L2-C4)	<u>ΔL^*</u> , <u>ΔC^*ab</u>
(b) マフグ	
Measuring points	Indices
Dorsal region (L1-C1)	<u>b^*</u>
Trunk part (L2-C3)	<u>L^*</u>
Abdominal region (L3-C1)	<u>L^*</u> , <u>b^*</u> , hab
Abdominal cavity (acL3-C1)	<u>b^*</u> , <u>C^*ab</u>
Abdominal cavity (acL3-C2)	<u>L^*</u>
Abdominal cavity (acL3-C1)-(acL3-C2)	<u>ΔL^*</u>
Dorsal region - Trunk part (L1-C1)-(L2-C1)	<u>Δa^*</u>
Trunk part - Abdominal region (L2-C1)-(L3-C1)	<u>Δb^*</u>
Trunk part - Caudal fin (L2-C1)-(L2-C4)	<u>Δa^*</u>
Trunk part - Caudal fin (L2-C2)-(L2-C4)	<u>Δa^*</u> , <u>Δb^*</u>

残り具合から除毒や身欠き処理の丁寧さなどが、また魚肉の乾燥の進行状態から品質の程度などが色彩として表れ易くなる傾向にある[14, 16, 17].

3.2 品質評価モデルを構成する色彩

表4に、表3で示す色彩を説明変数に定めて判別分析を行った後、結果についてのふぐ処理師との協議を経て、最も適切と判断した品質評価モデルの変数の構造を示す。天然トラフグの品質評価モデルは頭部寄りの列C1と体中央の列C2上の計4箇所の色彩で、またマフグでは頭部寄りの列C1と腹腔内を含む計5箇所の色彩から構成される。各モデルの判別率の中率は天然トラフグが71.7%、とマフグで74%となった。

以下、これらの指標がふぐ処理師の品質評価を反映する理由について、天然トラフグを対象として考察する。

(a) 背部の頭部寄り (L1-C1) の彩度 C^*ab

図5に背部の頭部寄り (L1-C1) の彩度 C^*ab と色度 b^* の経時変化の様子を示す。試料入手後1時間経過時における背部の頭部寄り (L1-C1) の色彩は、全試料の平均で明度 $L^*=51.95$ 、色度 $a^*=-0.74$ 、色度 $b^*=-1.41$ となり「灰色」を呈した。群別では第1群から第4群迄が「灰色」を、また第5群では「青みの灰色」となった。

表4 品質評価モデルの変数の構造

(a) 天然トラフグ

Explanatory variables	Standardised discriminant coefficients				
	Vectors:	1st	2nd	3rd	4th
Dorsal region (L1-C1), C*ab		0.518	0.256	0.524	0.673
Trunk part (L2-C2), L*		0.451	-1.108	0.277	0.175
Abdominal region (L3-C1), L*		0.157	0.733	0.486	-0.755
Trunk part - Abdominal region (L2-C2)-(L3-C2), Δ b*		-0.544	-0.399	0.799	0.259

Canonical correlation = 0.745, $F = 7.44$, $df = 16$, $P < 0.01$

(b) マフグ

Explanatory variables	Standardised discriminant coefficients				
	Vectors:	1st	2nd	3rd	4th
Trunk part (L2-C3), L*		0.570	0.057	-0.389	0.823
Abdominal cavity (acL3-C1), C*ab		0.306	0.858	0.552	0.075
Abdominal cavity (acL3-C1) - (acL3-C2), Δ L*		0.599	-0.147	0.694	-0.563
Dorsal region - Trunk part (L1-C1) - (L2-C1), Δ a*		0.385	0.430	-0.717	-0.425

Canonical correlation = 0.799, $F = 8.40$, $df = 16$, $P < 0.01$

背部の頭部寄り (L1-C1) における第5群と他の群との色差 ΔE^*ab の平均は1.11から3.48の範囲にあり、並べて比較すると色彩の差異を感知し得るものとなる。

1時間経過時における背部の頭部寄り (L1-C1) の彩度 C^*ab の平均は1.05から2.10の範囲にあり、第5群が最大で他の群との有意差 ($P < 0.01$) も72時間経過時迄維持された。色度 a^* には群間差が確認されなかったことから、彩度 C^*ab の差違には色度 b^* が貢献することがわかる。図5(b)より、色度 b^* は第5群が経時的に低下する傾向にあることに対して、他の群では24時間経過時迄上昇した後、48時間経過時には下降に転じている。このことから、第5群は他の群と比較して評価時には既に死後の経過時間が長かったこと、即ち鮮度が低下した状態であったことが推察される。

また、1時間経過時の彩度 C^*ab はK値と若干の相関 ($r = 0.295$, $P < 0.05$) も確認され、24時間経過時以降では経時的に関連を強めた ($r = 0.471$, $P < 0.01$)。加えて、第5群のK値は72時間経過時迄継続して他の群との有意差 ($P < 0.01$) が確認された。

(a) 彩度 C^*ab

(b) 色度 b^*

図5 背部頭部寄り (L1-C1) の色彩の経時変化

以上により、彩度 C^*ab には主に色度 b^* の経時的挙動が反映し、品質劣化の特徴が群間の色差 ΔE^*ab として表れる。よって、ふぐ処理師は背部の頭部寄り(L1-C1)の彩度 C^*ab を確認することで、特に鮮度の劣化の程度を経験的に見積もるものと考えられる。

(b) 体幹部中央(L2-C2)の明度 L^*

図6に体幹部中央(L2-C2)の明度 L^* の経時変化の様子を示す。図6より明度 L^* は経時的に上昇する傾向を有することがわかる。1時間経過時における体幹部中央(L2-C2)の色彩は、全試料の平均で明度 $L^*=51.24$ 、色度 $a^*=-1.23$ 、色度 $b^*=-2.15$ となり「青みの灰色」を呈した。第5群と他の群との色差 ΔE^*ab の平均は3.46から5.76の範囲にあり、並べて比較すると色彩は「著しく異なる」ものとなった。

1時間経過時における体幹部中央(L2-C2)の明度 L^* の平均は49.45から54.87の範囲にあり、第5群が最大で他の群との有意差($P<0.01$)も72時間経過時迄維持された。同様に、色度 b^* の平均は-1.36から-3.67の範囲にあり、第5群が最小で明度 L^* と同様に他の群との有意差($P<0.01$)が72時間経過時迄維持された。色度 a^* には群間差は確認されなかった。よって、体幹部中央(L2-C2)における群間の色差 ΔE^*ab には、先ず明度差 ΔL^* が最も貢献し、次に色度差 Δb^* が貢献するものと考えられる。

また、1時間経過時における体幹部中央(L2-C2)の明度 L^* はK値との正の相関($r=0.504$, $P<0.01$)が確認され、72時間経過時迄継続して同程度の関連を示した。これは体表の粘性が経時的に強まると共に、魚肉が蛋白質の変性に伴って徐々に白化することに対応したものと考えられる。

以上により、ふぐ処理師は経時的に変化する体幹部中央(L2-C2)の色彩に着目し、経験的に鮮度の程度を把握するものと推察する。

図6 体幹部中央 (L2-C2) の明度 L^* の経時変化

(c) 腹部の頭部寄り(L3-C1)の明度 L^*

図7に腹部頭部寄り(L3-C1)の明度 L^* の経時変化の様子を示す。図7より明度 L^* は第1群から第4群迄が経時的に上昇し、第5群では下降する様子が見受けられる。1時間経過時における腹部頭部寄り(L3-C1)の色彩は、全試料の平均で $L^*=52.65$ 、 $a^*=-1.36$ 、 $b^*=-2.52$ となり、「青みの灰色」を呈した。

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 は第5群と他の群との間で顕著に大きく、3.23から4.13の範囲で平均が3.51となった。これは第5群と他の群を並べて比較すると「著しく異なる」ものとなった。また、1時間経過時における腹部の頭部寄り(L3-C1)の明度 L^* は第5群と他の群間で有意差($P<0.01$)が確認され、色度 a^* 及び色度 b^* には規則的な群間差は確認されなかった。よって、群間の色差 ΔE^*ab には明度差 ΔL^* が最も貢献している。

1時間経過時における腹部の頭部寄り(L3-C1)の全試料の明度 L^* とK値の間には関連が確認されなかった。しかし、第5群のみでは負の相関($r=-0.497$, $P<0.01$)を示し、経時的にその傾向を強めて72時間経過時には強い負の相関($r=-0.809$, $P<0.01$)が確認された。身欠き処理後の腹部は他の部位と比較して肉厚が薄く、特に腹部の頭部寄り(L3-C1)が最も薄くなる。よって、腹部の頭部寄り(L3-C1)は養殖トラフグの場合と同様に乾燥の進行に伴う魚肉の変性の程度が表れ易く、かつ粘性の強さを確認し易い部位といえる。魚肉の乾燥は身欠き処理後からの経過時間や冷蔵迄に要した時間に伴い進行し、鮮度を良好に反映する。また、腹部や腹腔の粘性の程度は身欠き処理後の水洗の丁寧さも表すものとなる。よって、第5群の場合には、評価時には身欠き処理後からの経過時間が長く、かつ水洗が十分ではないという、鮮度と身欠き処理の丁寧さの両面から品質が劣ると見なされたものと

図7 腹部頭部寄り (L3-C1) の明度 L^* の経時変化

推察する。

以上により、ふぐ処理師は乾燥が進行し易く、かつ身欠き処理の丁寧さを確認し易い腹部の頭部寄り (L3-C1) に着目し、総合的に品質の程度を見積もるものとする。

(d) 体幹部中央 (L2-C2) - 腹部中央 (L3-C2) の色度差 Δb^*

図8に体幹部中央 (L2-C2) と腹部中央 (L3-C2) の色度差 Δb^* の経時変化の様子を示す。前述のとおり、試料入手後1時間経過時の体幹部中央 (L2-C2) の色彩は全群の平均で「青みの灰色」を呈した。また、腹部中央 (L3-C2) の色彩は全群の平均で明度 $L^*=47.83$ 、色度 $a^*=-0.08$ 、色度 $b^*=-2.39$ となり、体幹部中央 (L2-C2) と同様に「青みの灰色」を呈した。

1時間経過時における体幹部中央 (L2-C2) と腹部中央 (L3-C2) の色差 ΔE^*ab は各群の平均で2.60から4.80の範囲にあり、両点間の色彩は少なくとも「感知し得るほどに異なる」ものとなる。また、1時間経過時における体幹部中央 (L2-C2) の群間の色差 ΔE^*ab は0.50から5.74の範囲にあり、第5群と他の群との色差 ΔE^*ab は他の群間のものと比較して大きくなった。群間の色差 ΔE^*ab は第5群との間を除いて経時的に縮小するものの、第5群と他の群との間の比較では相対的に大きくなる傾向を保った。体幹部中央 (L2-C2) の群間の色差 ΔE^*ab に対しては、前述のとおり先ず明度差 ΔL^* の大きさが、次に色度差 Δb^* が貢献した。特に、1時間経過時における第5群の色度 b^* は他の群より有意に小さく ($P<0.01$)、この傾向は72時間経過時迄維持された。一方、1時間経過時における腹部中央 (L3-C2) の群間の色差 ΔE^*ab は0.34から5.07の範囲にあり、体幹部中央 (L2-C2) の場合と同様に第5群との比較で大きくなった。この色差 ΔE^*ab の大きさには48

時間経過時迄継続して明度差 ΔL^* のみが貢献した。これらにより、体幹部中央 (L2-C2) と腹部中央 (L3-C2) との間の明度差 ΔL^* には規則的な群間差が表れないことに対して、色度差 Δb^* は72時間経過時迄継続して第5群と他の群との間に有意差 ($P<0.01$) が確認されるものとなった。よって、この色度差 Δb^* は、差違の小さい腹部中央 (L3-C2) の色度 b^* を基準として、経時的に低下する体幹部中央 (L2-C2) の色度 b^* の挙動を表すものと見なせる。

1時間経過時における全試料の体幹部中央 (L2-C2) と腹部中央 (L3-C2) との間の色度差 Δb^* とK値にはやや強い負の相関 ($r=-0.427$, $P<0.01$) が確認され、経時的にその傾向を強めた。よって、色度差 Δb^* は良好に鮮度を反映するものと言える。

以上により、体幹部中央 (L2-C2) と腹部中央 (L3-C2) の間の色度差 Δb^* は試料の死後からの経過時間、即ちそれに起因する鮮度を表し得ると考えることができる。よって、ふぐ処理師は腹部中央 (L3-C2) の色彩を基準とした体幹部中央 (L2-C2) の色彩との差異により鮮度の程度を捉えたものと推察する。

4. 品質評価のファジィ推論モデル

図9にチューニング後のファジィ推論モデルのメンバーシップ関数の構成を示す。モデルの前件部変数は各身欠き共に計4個の色彩から成り、後件部変数は共通である。ファジィ規則の数は、天然トラフグが150個、養殖トラフグとマフグが各250個とした。

表5にモデルに対して全試料を用いて行ったシミュレーションと評価実験の結果を示す。天然トラフグではふぐ処理師の評価とモデルによる推定結果が一致したものが80尾中77尾で、一致率は96.3%と極めて高かった。一致しなかった3尾は全て隣群への推定となった。また、養殖トラフグでは250尾中202尾、マフグでは230尾中205尾が一致し、一致率はそれぞれ80.8%、89.1%となった。

養殖トラフグの一致率は他のものと比較して低い。これは養殖トラフグの身欠きの1時間経過時の各群のK値の平均が3.75%から4.04%の非常に狭い範囲にあり、他と比較すると鮮度の違いを見積もることが容易でなかったこと、よってふぐ処理師は養殖トラフグの品質を身欠き処理の丁寧さと鮮度の両面から評価する傾向が強まることに起因するものと考えられる[16, 17]。また、養殖トラフグで不一致となった内容は、隣群に推定したものが29尾、2群離れたものが19尾であった。これらの計48尾の内、モデルがふぐ処理師の評価よりも高い品質であると推定したものが34尾、逆に低い品質と推定したものが14尾であった。このようにふ

図8 体幹部中央 (L2-C2) - 腹部中央 (L3-C2) の色度差 Δb^* の経時変化

図9 メンバーシップ関数の構成

ぐ処理師の評価がモデルの推定結果よりも厳しくなる理由としては、体表に定めた測定点以外の箇所でも評価を下げる要因、例えば他のフグから噛まれて鬱血した痕が見られたことなどが考えられる。本研究で試料とした養殖トラフグは、前述のとおり競りの直前まで市場生け簀に活かされていたものであり、市場における競り終了後にふぐ処理師により即座に身欠き処理をされたことから、1時間経過時におけるK値の各群の平均が3.75% (第1群) から4.04% (第5群) と非常に狭い範囲にあった。この養殖トラフグのK値は、即殺魚の目安である5%以内に入っており、例えば第5群の養殖トラフグであっても大変新鮮なものであったと言える。よって、この段階で品質を高く評価することのリスクは、思ったほど大きくないと考える。マフグでは隣群と2群離れたものがそれぞれ18尾と7尾であり、養殖トラフグの場合と同様に、ふぐ処理師の評価がモデ

表5 モデルの評価結果

(a) 天然トラフグ		Rate of concordance = 96.3%				
		Estimation by fuzzy model				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cook's evaluation	Class 1	16	0	0	0	0
	Class 2	0	14	2	0	0
	Class 3	0	0	16	0	0
	Class 4	0	0	1	15	0
	Class 5	0	0	0	0	16
(b) 養殖トラフグ		Rate of concordance = 80.8%				
		Estimation by fuzzy model				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cook's evaluation	Class 1	45	1	4	0	0
	Class 2	5	38	7	0	0
	Class 3	2	4	43	1	1
	Class 4	0	3	7	39	0
	Class 5	0	0	9	4	37
(c) マフグ		Rate of concordance = 89.1%				
		Estimation by fuzzy model				
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cook's evaluation	Class 1	42	2	1	0	0
	Class 2	4	42	1	0	0
	Class 3	3	2	43	0	0
	Class 4	0	2	4	36	4
	Class 5	0	0	1	1	42

ルの推定結果よりも厳しくなった。

以上、特に養殖トラフグのモデルでは推定精度を改善するために更に丁寧なチューニングをすることを要するものの、天然トラフグとマフグではほぼ満足できる一致率を得た。よって、本モデルの有用性は高いものとする。

5. 結言

本研究では下関市の老舗ふぐ仲卸のふぐ処理師、所謂「プロの目利き」による天然トラフグ、養殖のトラフグおよびマフグの身欠きについての品質評価を解析すると共に、ふぐ処理師の品質評価に相当するファジィ推論モデルの作成を試みた。その結果、ふぐ処理師の品質評価には魚肉鮮度と身欠き処理の丁寧さが反映すること、またこれらが表れる計4個の色彩を前件部変数に定めてモデルを構成することで、良好な推定結果が得られることを示した。

フグの集散基地となっている下関市地方卸売市場南風泊市場では、天然と養殖の多く種類のフグ類を扱っている。本研究で試料としたトラフグには天然と養殖があり、近年市場での取扱量は1対10程度で推移している。天然トラフグは漁獲から競りに至るまでに魚槽に入れたまま数日かかるものもあり、競りの段階では既に品質にバラツキを有する場合もある。それに対して養殖トラフグは計画出荷もでき、競りの直前まで

活かすこともできることから鮮度が良いものが多い。マフグも天然トラフグに準じた流通形態となる。これらの品質に差がある多様なフグ類を長年扱うことで、確かなプロの目も養われ、それを解析してモデル化することで、技術の維持と継承の一助となると考える。

現在、著者らはフグ類の身欠きを対象として、天然と養殖の鑑定や魚種の鑑別について取り組んでいるところである。

本研究にご協力を頂いた株式会社酒井商店(下関市)の酒井一代表取締役と商店の皆様へ感謝いたします。本研究の一部はJSPS科研費(25330302)の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- [1] 厚生労働省, 環境衛生局長通知, フグの衛生確保について, 1983.
- [2] 山口県環境生活部, 昭和五十六年山口県規則第50号, ふぐの処理の規制に関する条例, 1982.
- [3] 東京都福祉保健局, 東京都ふぐの取扱い規制条例, 2012.
- [4] 浜岡尊, 佐々木健, ファジィ推論を適用してヒロシマカキの鮮度判定システムの開発, 日本フィジィ学会誌, Vol.4, pp.201-208, 1992.
- [5] 浜岡尊, 岩永千尋, 片山祐次郎, 佐々木健, ファジィ推論を適用した広島カキの鮮度判定におけるチューニングとその有効性, 日本フィジィ学会誌, Vol.5, pp.1439-1449, 1993.
- [6] 佐々木健, 岩永千尋, 浜岡尊, ファジィ推論による生カキの鮮度判定, 日本フィジィ学会誌, Vol.6, pp.14-23, 1994.
- [7] 中村誠, 酒井義郎, 藤本正克, 高浪五男, 魚類乾燥予測モデルの構成, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, pp.1778-1786, 1995.
- [8] 中村誠, 藤本正克, 白上貞三, 北澤雅之, 酒井義郎, 熟練者の手法を取り入れた魚類乾燥制御システム, 日本機械学会誌C編, Vol.65, pp.4236-4243, 1996.
- [9] M. Nakamura, H. Ohta, E. Morimoto, S. Ezoe, K. Harada, Quality Estimation Model of White Chestnut (*Lagocephalus wheeleri*) by Auctioneers, Fisheries Engineering, Vol.45, pp.119-128, 2008.
- [10] M. Nakamura, K. Matsumoto, E. Morimoto, S. Ezoe, T. Maeda, T. Hirano, Model of Auctioneer Estimation of Swordtip Squid (*Loligo edulis*) Quality, Kansei Engineering International Journal, Vol.10, pp.99-107, 2011.
- [11] T. Saito, K. Arai, M. Matsuyoshi, A New Method for Estimating the Freshness of Fish, Journal of Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol.24, pp.749-750, 1959.
- [12] 渡邊悦生編著, 魚介類の鮮度と加工・貯蔵, pp.1-27, 成山堂書店, 1998.
- [13] 中村誠, 太田博光, 森元映治, 江副覚, 原田和樹, 松本佳祐, 下関トラフグ身欠きの熟練の品質評価のモデル, 第26回ファジィシステムシンポジウム講演集, 9月14日, 東広島市, pp.812-813, 2010.
- [14] 中村誠, 中村克史, 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の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文集, 11月26日, 下関市, pp.128-129, 2011.
- [15] H. Ohta, K. Sasada, S. Shiota, M. Nakamura, Non Destructive Estimation Method about the Texture of Raw Puffers Meat on its Frequency Response -Identification of Optimum Discrimination Sensitivity by Discrimination Index-, International Journal of Comprehensive Engineering, Part C, Vol.1, pp.133-139, 2012.
- [16] 中村克史, 中村誠, 太田博光, 平雄一郎, 明田川雅子, 森元映治, ファジィ推論を用いたフグ身欠きの品質評価について, 日本知能情報ファジィ学会第17回中国四国支部大会予稿集, 12月2日, 山口市, pp.42-43, 2012.
- [17] 中村誠, 太田博光, 平雄一郎, 森元映治, 江副覚, 前田俊道, 中村克史, 下関トラフグ身欠きの熟練の品質評価の解析, 人間工学, Vol.48, pp.304-312, 2012.
- [18] 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, Vol.19, pp.30-35, 2007.
- [19] 日本色彩学会編, 新編色彩科学ハンドブック第2版, pp.123-128, 東京大学出版会, 1998.
- [20] 日本工業規格, JIS Z8730 色の表示方法-物体色の色差, 2009.
- [21] E. H. Lee, T. Oshima, C. Koizumi, High performance liquid chromatographic determination of K value as an index of freshness of fish, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol.48, p.255, 1982.
- [22] R. Fujii, Cytophysiology of fish chromatophores, Int. Rev. Cytol., Vol.143, pp.191-255, 1993.
- [23] M. A. McNiven and K. R. Porter, Microtubule polarity confers direction to pigment transport in chromatophores, J. Cell Biology, Vol.103, pp.1547-1555, 1986.
- [24] S. K. Whyte, The innate immune response of finfish -A review of current knowledge, Fish Shellfish Immunol., Vol.23, pp.1127-1151, 2007.
- [25] 山中英明, 魚介類の死後変化と品質, 日本水産学会誌, Vol.68, pp.5-14, 2002.
- [26] E. H. Mamdani and S. Assilian, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, Int. J. Man Machine Studies, Vol.7, pp.1-13, 1974.
- [27] 岡本昭, 濱田有貴, 他6名, 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響, 日本水産学会誌, Vol.72, pp.918-923, 2006.
- [28] 岡本満, 齋藤寛之, 釣獲されたサワラの船上における致死方法の検討, 日本水産学会誌, Vol.77, pp.1083-1088, 2011.
- [29] 中村誠, 太田博光, 他5名, 鮮魚の熟練の品質評価の解析-彩度の低い魚種の品質評価について-, 人間工学, Vol.48, pp.142-149, 2012.
- [30] 海沼勝, 新ふぐ調理師必携上巻, 柴田書房, 2008.

(2014年2月3日 受付)
(2014年6月5日 採録)

[問い合わせ先]

〒759-6595 山口県下関市永田本町2-7-1

独立行政法人水産大学校

中村 誠

TEL: 083-286-5111

FAX: 083-286-7433

E-mail: nakamura@fish-u.ac.jp

著者紹介

なかむら まこと
中村 誠 [正会員]

1979年山口大学工学部電子工学科卒業。同年、小野田セメント(株)入社。1983年山口県技術吏員研究職、1996年山口大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。1997年水産大学校助教授。2012年より同校水産学研究科教授。現在は、熟練者のスキル分析とモデル化に関する研究に取り組んでいる。日本知能情報ファジィ学会、日本人間工学会等の会員。

おhta ひろみつ
太田 博光 [非会員]

1997年 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程エネルギー物質科学専攻修了。博士(工学)。同年、水産大学校海洋機械工学科助手、講師を経て、現在、准教授。水産物の品質評価法、機械設備の状態監視・診断法に取り組んでいる。日本機械学会、日本設備管理学会等の会員。

こうがみ けんいちろう
鴻上 健一郎 [学生会員]

2013年水産大学校海洋機械工学科卒業。同年、同校水産学研究科入学。現在に至る。熟練者のスキル分析とモデル化の研究に取り組んでいる。日本人間工学会の会員。

あきた がわ まさこ
明田川 雅子 [非会員]

2012年水産大学校海洋機械工学科卒業。2013年同校専攻科修了。同年同校水産学研究科入学。現在に至る。水産物の色彩と鮮度のモデル化の研究に取り組んでいる。日本人間工学会の会員。

とくなが かずひろ
徳永 憲洋 [非会員]

2001年九州工業大学情報工学部制御システム工学科卒業。2003年同大学大学院生命体工学研究科博士前期課程修了。2006年同大学大学院生命体工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年、同大学研究員。2011年一般財団法人ファジィシステム研究所主任研究員。2013年水産大学校助教。ソフトコンピューティングとその応用に関する研究に従事。日本神経回路学会、日本機械学会等の会員。

まえだ としみち
前田 俊道 [非会員]

1994年京都大学大学院農学研究科博士後期課程中途退学。同年、水産大学校製造学科助手。1996年博士(農学)。2000年水産大学校食品化学科講師。2008年水産大学校食品科学科准教授。2013年同学科教授。2014年より同校水産学研究科教授。現在は、魚の鮮度保持や加工についての研究を行っている。日本水産学会、日本農芸化学会等の会員。

Quality Evaluation Models of the Dressed Puffers (*Migaki*) by Skilled Cooks Using Fuzzy Inference

by

**Makoto NAKAMURA, Hiromitsu OHTA, Kenichiro KOGAMI, Masako AKETAGAWA,
Kazuhiro TOKUNAGA and Toshimichi MAEDA**

Abstract :

This study aims to develop a quality evaluation system by analyzing the skills of experienced puffer cooks from well-established intermediary wholesalers in order to create a model for quality evaluation. A total of 560 fish dressed by the cooks (*Migaki*) were graded into five classes to determine what aspects of the surface color and meat freshness of the fish the cooks use for evaluation. Analysis of the appearance evaluation by cooks, combined with information on fish coloration and meat freshness, indicated that the cooks focus on four colors on the surface of the fish. Fuzzy inference models were then constructed and evaluated using the colors as four antecedent-part variables, and results corresponded with the assessments by cooks with more than 80% certainty. The results confirm the validity of the proposed method, which incorporates the knowledge of skilled cooks in the design of the *Migaki* quality evaluation system.

Keywords : Dressed puffer, Puffer cook, Quality evaluation, Modeling, Fuzzy inference

Contact Address : **Makoto NAKAMURA**

National Fisheries University

2-7-1, Nagata-Honmachi, Shimonoseki, Yamaguchi, 759-6595, Japan

TEL : 083-286-5111

FAX : 083-286-7433

E-mail : nakamura@fish-u.ac.jp