水産研究・教育機構 機関リポジトリ
FRA Japan Fisheries Research and Education Agency Institutional Repository

ファジィ推論を用いたフグ肉の肉眼鑑別モデルに関する基礎的検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産大学校 公開日: 2024-10-11 キーワード (Ja): キーワード (En): Dressed puffer; Modeling; Fuzzy inference; Discriminant analysis; Experienced chef 作成者: 鴻上, 健一郎, 中村, 誠, 太田, 博光, 徳永, 憲洋, 前田, 俊道 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2012061

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Journal of National Fisheries University 64 (1) 29－45 (2015)

ファジィ推論を用いたフグ肉の肉眼鑑別モデルに関する基礎的検討

鴻上健一郎[1]，中村　誠[2†]，太田博光[3]，徳永憲洋[3]，前田俊道[2]

Visual Discrimination Models of the Dressed Puffers (*Migaki*) by Skilled Cooks Using Fuzzy Inference

Kenichiro Kogami[1], Makoto Nakamura[2†], Hiromitsu Ohta[3], Kazuhiro Tokunaga[3], Toshimichi Maeda[2]

Abstract : Experienced puffer fish chefs can quickly distinguish between species and between natural and cultivated fish based on the appearance of dressed puffer fish. This study aims to construct a system of differentiating between puffer fish based on the visual cues used by experienced chefs. The species used were Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*), Purple Puffer (*T. porphyreus*), Panther Puffer (*T. pardalls*), Vermiculated Puffer (*T. snyderi*) and White Chestnut Puffer (*Laocephalus wheeleri*). Moreover, both natural and cultured Tiger Puffer were used. Ten points on the bodies of the fish were selected to measure color, and color measurements were made up to 72 hours after the specimens were obtained. Next, the color difference (ΔE^*ab) between two species was calculated. Consequently, it was revealed that from 3 to 10 points are necessary to visually differentiate two species; this was consistent with an explanation provided by an experienced chef prior to the experiment. The results showed that chefs can visually differentiate between fish with extreme precision. We compared two species at a time, as well as all five species at once using discriminant analysis based on the color measurement points. The analysis showed the discrimination rate between two species to be ≥90.2% and the rate among all species to be 90.9%. The discrimination rates obtained had high probability. Finally, in the discrimination model using fuzzy inference, all models were in accordance with the results of inference and species discrimination. Therefore, models based on the visual cues used by chefs are useful in differentiating between puffer fish.

Key words : Dressed puffer, Modeling, Fuzzy inference, Discriminant analysis, Experienced chef

緒　言

食用となる水産物の種類は多く，産地や系統，漁期などを異にすることにより商品価値が大きく変動する。そのため，水産物の流通において健全性を保つためには，魚種や産地，天然や養殖などについての高い精度での鑑別が必要となる。現在ではDNA型鑑定[1)]の導入により，我が国で人気の高いマグロやサケなどの一部の魚種で種の鑑別が可能となった。しかし，DNA型鑑定では系統を特定する必要があること，専用の分析機器類や専門知識を要すること，結果を得る迄の時間や費用などの問題もあり，小規模事業者や一般消費者の利用は容易ではない。よって，水産物の鑑別は古くから習熟したプロの目利き，例えば魚市場の競り人[2-4)]やふぐ処理師[5-7)]などに頼っている。

漁獲や養殖されたフグ類は魚市場に送られて競りにかけられた後，ふぐ仲卸などで免許を有するふぐ処理師により身欠き処理をされ，フグ肉として小売店や飲食店，或いは一般消費者に流通する。我が国では日本近海に生息する約

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 〒759-6595 山口県下関市永田本町2-7-1 (2-7-1 Nagata-Honmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595)
† 別刷り請求先 (corresponding author) : nakamura@fish-u.ac.jp

70種のフグ類の内22種が食用として認められており[8]，種により毒性のある部位が異なることから，種毎に可食部位が厳しく制限されている。フグ類の種の鑑別は身欠き処理前では表皮の模様や小棘の有無とその分布，尾鰭の形などを参考にして行われる。これらの理由により，表皮を剥いで有毒部位を除去した身欠き処理後のフグ肉では，種の鑑別や天然と養殖の判別は容易ではないと推察する。所謂「フグは身欠いた後は判らない」状態である。しかし，プロの目利き，例えば老舗ふぐ仲卸のふぐ処理師はフグ肉の外観から素早く種の鑑別や天然と養殖の判別をしている。即ち，豊富な経験を基にして，身欠き処理後のフグ肉の色彩の特徴から瞬時に肉眼鑑別をするものである。しかし，国民の魚食離れや長年の経済の低迷などに起因して，これらの目利きも少なくなっており後継者の育成も円滑には進んでいない。よって，現場の技術水準の維持と食の安全性の確保に問題が生じる可能性がある。また，流通の段階においては，素人では身欠き処理後のフグ肉の外観から種を鑑別することが困難となる[9]。よって，フグ肉の偽装や偽称が発生する可能性も高まることが予想される。以上を背景として，フグ類は身欠き処理後であっても外観から肉眼鑑別が可能であるということをデータで明示すると共に，フグ肉の流通における検査体制などの環境を整備する必要がある。そのための一策として，習熟したふぐ処理師の技を解析してモデル化を行い，技術を継承していくシステムの確立が必要となる。

そこで本報告では，流通におけるフグ肉を簡便かつ迅速に鑑別するシステムを構築する研究[10-14]の前段として，先ずふぐ処理師の技，即ち，体表の色彩から種の鑑別や天然と養殖を判別することの可否について検討する。次に，習熟したふぐ処理師の肉眼鑑別に相当するフグ肉の鑑別モデルを，技能の表現と処理に親和性が高いファジィ推論[15, 16]を用いて作成を試みる。

実験と解析

実験方法

試料魚にはフグ類で需要が高く，流通量も多い天然と養殖のトラフグ（学名：*Takifugu rubrpes*, 英名：Tiger puffer），マフグ（学名：*Takifugu porphyreus*, 英名：Purple puffer），ヒガンフグ（学名：*Takifugu pardalls*, 英名：Panther puffer），ショウサイフグ（学名：*Takifugu snyderi*, 英名：Vermiculated puffer），及びシロサバフグ（学名：*Laocephalus wheeleri*, 英名：White chestnut）の５魚種を定めた。試料は下関市南風泊市場で競りにかけられた後，老舗ふぐ仲卸で身欠き処理を施したもののうち，体格と魚肉鮮度K値[17]が同程度のものを用いた。K値は式（1）に示すとおり，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）が死後急激に分解して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指標で，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，20～60%の範囲では加熱調理をした方が良いという目安を与える[18]。表１に身欠き処理後の試料の概要を示す。

$$\text{K value} = \frac{100 \times (HxR + Hx)}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \ [\%] \quad (1)$$

図１に魚体体表上に設定した色彩の測定点を示す。測定

Table 1 Specimens

[mean ± standard deviation]

Species	Length (mm)	Weight (g)	n
Tiger puffer (natural, TN)	249.9±16.0	206.9±34.1	50
Tiger puffer (cultivated, TC)	253.4±11.2	238.7±14.2	50
Purple puffer (PP)	255.1±19.9	221.7±47.3	85
Panther puffer (TP)	208.8±24.8	145.0±46.9	50
Vermiculated puffer (VP)	186.5±31.3	114.7±60.2	50
White chestnut (WP)	247.0±16.8	228.8±55.7	50

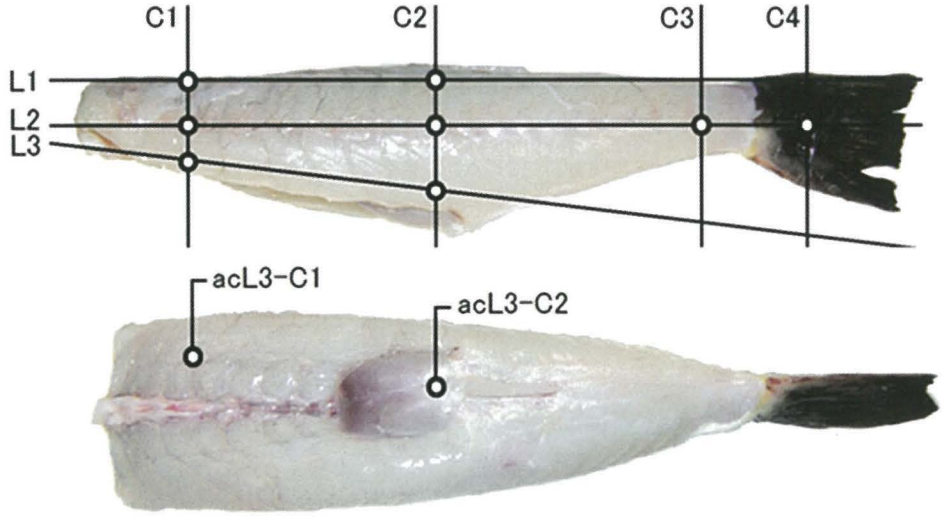


Fig. 1　Measuring points of color on the fish body surface

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，まず肛門を通る列C2を定め，体幹部上にこれと直行する行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，背部上に行L2に平行となる行L1を，また行L3上の測定点は，魚体のエッジ（縁）から約４～５mm離れた箇所に定めた。試料は透明のプラスチック製のトレーの上に載せ，それを反射率の低い黒色のゴム板の上に置いて測定した。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）を用いた。体表の色彩の測定にはCIE1976L*a*b*表色系に規定される明度指数L*と色座標a*及びb*（以下，色度と呼ぶ）を用いた。彩度，色相角度，色差，色相差は各々式（2）から式（5）により求めた。

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

$$h_{ab} = \tan^{-1}\frac{b^*}{a^*} \quad [^\circ] \tag{3}$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [-] \tag{4}$$

$$\Delta H^*_{ab} = k\sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2} \quad [-] \tag{5}$$

Δ：２点間の色彩の差。

k：色相角度habが増加する色相差の場合は+１，減少する色相差の場合は－１の値。

体表の色彩の測定は試料入手後１時間（身欠き処理後約７時間に相当），24時間，48時間及び72時間の各経過時に，室温を12℃，湿度を50%RHに設定した恒温恒湿室内で行った。また，測定時以外では，試料を下氷した発泡スチロール製の魚箱に納めて室温を２℃に保った冷蔵室内で保存した。

解析方法

解析に用いる体表の色彩は，次の第１）項～第３）項に定める計25点とした。

１）各測定点（計10点）

２）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）｝

３）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）｝

各測定点における色彩の基本統計量を算出した後，種と測定時間を水準とする二元配置の分散分析と多重比較を行った。分析では等分散性の検定にはルービン検定を，また多重比較にはシェッフェの検定法を用いた。なお，等分散性が棄却された場合には，改めて種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。その結果，種間の色彩に有意差が確認された測定点については各種間の色差ΔE*abを算出し，肉眼で容易に色の違いを認めることができるレベル（２級実用色差a，ΔE*ab≧1.2）

以上となる鑑別に有用な測定点を抽出した。

モデル化の方法

次に種を目的変数，有用性を確認した測定点の色彩を説明変量に定めたマハラノビスの距離による判別分析を行い，最も判別的中率の高い判別関数（以下，判別分析モデルと呼ぶ）を求めるものとした。なお，判別分析モデルは身欠きの流通形態を考慮して，天然トラフグと養殖トラフグ，トラフグとシロサバフグの間では尾鰭の色彩があるものを，またその他の２種間および全種間では尾鰭を含まないものを作成した。式（6）に判別分析モデルの基本式を示す。

$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i \quad [-] \tag{6}$$

ここで，a_0 は定数，a_i は判別係数，x_i は説明変数（色彩）である。

最後に，ファジィ推論を用いて鑑別モデルを作成した。判別分析モデルで説明変数とした色彩の組み合わせを前件部変数とし，魚種を後件部変数に定めた。前件部変数の各変数はそれぞれ５個のメンバーシップ関数（以下，MFと呼ぶ）で構成した。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 Species is E_i (7)

ここにA_i～E_iはファジィラベル，またSpeciesは魚種を表す。前件部変数のMFはVH（very high），HI（high），ME（medium），LO（low），VL（very low）の５個で構成した。関数LO，関数MEおよび関数HIには三角形を，また関数VLおよび関数VHには台形を用いるものとした。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[19]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。ファジィ推論モデルが前件部２変数，後件部１変数で構成された場合，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 は魚種が対応する。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，推論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。

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

以上の方法によりファジィ推論結果を得るが，観測値（魚種）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。

結果と考察

色彩による鑑別

表２に身欠き処理後１時間経過時における各試料の測定点の色彩の一覧を示す。表中の各測定点の色名は色彩の平均値をマンセル値に変換した後にJISZ8102[20]を参考にして付けたものである。表２に示すとおり，各身欠きは共に灰色を基本とする無彩色を呈した。

表３に各測定点の色彩について多重比較を行った結果，全測定時間の組み合わせにおいて２種間で有意差（$P<0.05$）が確認され，かつ２種間の色差ΔE^*abが1.2以上となった測定点の一覧を示す。即ち，色彩による肉眼鑑別に貢献する測定点の一覧である。表３に示すとおり，６

Table 2-1 Color of specimens (elapsed 1 hour after experiments started)

(a) Natural tiger puffer [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	52.94±2.60	-0.76±0.59	-1.57±1.41	medium gray
L1-C2	51.52±3.01	-0.95±0.72	-3.09±1.40	bluish gray
L2-C1	56.38±5.62	-0.71±1.01	-0.53±2.12	medium gray
L2-C2	51.59±3.90	-1.14±0.60	-2.11±1.56	bluish gray
L2-C3	52.47±5.09	-1.01±0.43	-3.26±2.86	bluish gray
L2-C4	26.55±4.83	-0.23±0.55	-0.01±1.06	dark gray
L3-C1	53.41±3.73	-1.32±0.52	-2.65±1.40	bluish gray
L3-C2	48.95±3.77	-0.29±1.21	-2.33±1.00	bluish gray
acL3-C1	47.50±3.04	-1.08±0.50	-3.33±1.20	bluish gray
acL3-C2	50.36±3.01	7.06±1.54	1.41±1.36	grayish red

(b) Cultivated tiger puffer [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	49.57±2.54	-0.82±0.53	-1.82±1.51	medium gray
L1-C2	49.25±2.75	-1.15±0.28	-3.29±1.18	bluish gray
L2-C1	53.20±5.04	-0.61±0.86	-0.38±1.70	medium gray
L2-C2	49.17±2.45	-1.16±0.51	-2.14±1.55	greenish gray
L2-C3	50.31±2.84	-0.73±0.39	-3.69±2.11	bluish gray
L2-C4	26.90±4.34	-0.37±0.45	-1.98±1.26	dark gray
L3-C1	51.85±3.20	-0.92±0.85	-2.31±1.60	bluish gray
L3-C2	51.15±3.40	-0.80±0.65	-2.72±1.11	bluish gray
acL3-C1	45.94±2.02	-0.90±0.50	-3.10±1.26	bluish gray
acL3-C2	50.33±2.20	4.92±1.18	-0.88±1.08	reddish red

Table 2-2

(c) Purple puffer [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	55.55±3.93	-0.62±1.05	-1.22±1.83	medium gray
L1-C2	52.60±4.49	-1.40±0.63	-3.41±1.43	bluish gray
L2-C1	55.93±4.91	-0.59±1.07	1.05±1.84	medium gray
L2-C2	52.43±4.22	-1.27±0.72	-1.73±1.41	medium gray
L2-C3	56.28±4.42	-0.68±0.77	-3.56±1.84	bluish gray
L2-C4	24.08±3.22	-0.53±1.16	3.27±1.27	dark gray
L3-C1	51.99±5.08	-1.45±0.73	-2.50±1.49	bluish gray
L3-C2	51.89±5.83	0.77±1.75	-1.03±1.44	medium gray
acL3-C1	49.06±5.79	-1.34±0.78	-3.01±1.24	bluish gray
acL3-C2	48.58±3.95	7.98±2.15	0.39±2.04	grayish red

(d) Panther puffer [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	53.84±3.66	-1.37±0.57	-2.28±1.30	bluish gray
L1-C2	54.97±3.30	-0.79±0.45	-3.60±1.72	bluish gray
L2-C1	54.36±5.51	-1.18±0.82	-2.33±1.58	bluish gray
L2-C2	53.01±3.71	-0.98±0.90	-3.02±1.61	bluish gray
L2-C3	59.53±4.67	-0.96±0.62	-5.43±2.60	bluish gray
L2-C4	25.12±2.37	1.17±1.75	5.62±1.25	dark brownish gray
L3-C1	48.40±3.77	-1.45±0.48	-2.24±1.17	bluish gray
L3-C2	52.91±4.53	-2.03±0.34	-2.28±0.95	bluish gray
acL3-C1	46.11±3.59	-1.26±0.32	-2.57±1.14	bluish gray
acL3-C2	49.20±2.20	6.08±1.81	-0.38±1.59	reddish gray

Table 2-3

(e) Vermiculated puffer [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	49.95±3.80	-1.60±0.58	-2.14±0.99	bluish gray
L1-C2	50.14±2.63	-1.12±0.80	-3.69±1.02	bluish gray
L2-C1	51.52±5.32	-1.64±0.86	-2.86±1.39	bluish gray
L2-C2	60.43±5.39	-1.55±0.64	-4.42±1.15	bluish gray
L2-C3	54.60±3.54	-1.64±0.55	-3.61±1.34	bluish gray
L2-C4	30.34±2.42	-1.23±0.69	10.49±2.51	dark olive gray
L3-C1	47.14±4.09	-1.57±0.70	-1.60±1.11	medium gray
L3-C2	51.02±4.08	-1.63±0.59	-2.50±1.37	bluish gray
acL3-C1	46.24±3.15	-1.61±0.52	-1.84±1.22	bluish gray
acL3-C2	43.75±4.71	7.03±3.16	-0.22±1.47	grayish red

(f) White chestnut [mean ± standard deviation]

Measuring points	L*	a*	b*	Color
L1-C1	55.63±3.52	1.02±1.43	-2.35±1.41	purplish gray
L1-C2	51.32±2.89	0.22±0.90	-3.96±1.51	bluish gray
L2-C1	54.29±3.64	0.23±1.40	-2.27±1.92	bluish gray
L2-C2	54.99±3.19	-0.37±0.75	-3.79±1.82	bluish gray
L2-C3	56.83±3.47	-0.92±0.71	-3.28±1.52	bluish gray
L2-C4	38.82±3.19	-1.33±2.74	9.93±4.90	dark olive gray
L3-C1	50.04±4.19	-0.78±0.91	-2.10±1.25	medium gray
L3-C2	52.17±3.84	-0.20±0.92	-3.12±1.50	bluish gray
acL3-C1	48.31±4.17	-0.78±0.89	-3.14±1.16	bluish gray
acL3-C2	45.58±3.02	7.63±1.30	-0.14±1.60	grayish red

Table 3-1 Measuring points which contribute to the verification of puffer meat with eye

Comparison	TN vs. TC	TN vs. PP	TN vs. TP	TN vs. VP	TN vs. WP
Dorsal region	-	L1-C1	-	L1-C1	L1-C1
	-	-	-	L1-C2	L1-C2
Trunk part	L2-C1	L2-C1	-	L2-C1	L2-C1
	-	-	-	L2-C2	L2-C2
	-	L2-C3	-	L2-C3	L2-C3
Caudal fin	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4
Abdominal region	-	L3-C1	L3-C1	L3-C1	L3-C1
	-	L3-C2	-	-	-
Abdominal cavity	-	-	acL3-C1	acL3-C1	-
	acL3-C2	-	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2

Comparison	TC vs. PP	TC vs. TP	TC vs. VP	TC vs. WP	PP vs. TP
Dorsal region	L1-C1	-	-	L1-C1	-
	-	-	-	L1-C2	-
Trunk part	-	L2-C1	L2-C1	L2-C1	L2-C1
	-	L2-C2	L2-C2	L2-C2	-
	-	L2-C3	L2-C3	L2-C3	L2-C3
Caudal fin	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4
Abdominal region	-	L3-C1	L3-C1	L3-C1	L3-C1
	L3-C2	-	-	-	L3-C2
Abdominal cavity	-	-	acL3-C1	-	acL3-C1
	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2

Table 3-2

Comparison	PP vs. VP	PP vs. WP	TP vs. VP	TP vs. WP	VP vs. WP
Dorsal region	L1-C1	L1-C1	L1-C1	L1-C1	L1-C1
	L1-C2	L1-C2	L1-C2	L1-C2	L1-C2
Trunk part	L2-C1	L2-C1	-	L2-C1	L2-C1
	L2-C2	L2-C2	L2-C2	L2-C2	L2-C2
	L2-C3	-	-	L2-C3	L2-C3
Caudal fin	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4	L2-C4
Abdominal region	L3-C1	L3-C1	-	L3-C1	L3-C1
	L3-C2	L3-C2	-	L3-C2	L3-C2
Abdominal cavity	acL3-C1	-	-	acL3-C1	acL3-C1
	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2	acL3-C2

種の身欠きに共通して鑑別に貢献してするのは尾鰭（L2-C4）の色彩のみであった。しかし，マフグ，ヒガンフグおよびショウサイフグは表皮が有毒部位となる理由から尾鰭も身欠き処理の際に切り落とされることが多い。よって，尾鰭（L2-C4）の色彩は天然トラフグ，養殖トラフグおよびシロサバフグの間の鑑別にのみ有用となる。しかし，全２種間の組み合わせで最も肉眼鑑別に貢献する測定点が少ない天然トラフグと養殖トラフグの間，天然トラフグとヒガンフグの間でも３点が確認された。また，これらの測定点は実験前にふぐ処理師から鑑別のポイントとして説明を受けたものとほぼ一致した。よって，身欠き処理に習熟したふぐ処理師はこれらの部位の色彩の特徴を経験的に捉えて，高い確度でフグ肉を鑑別しているものと考えられる。

判別分析モデルの有用性

表４に２種間の判別分析モデルの代表として天然トラフグと養殖トラフグの構成を示す。判別分析モデルの変数は計５個の色彩によって構成されており，その総ての変数で１%未満のP値を確認した。また，相関比が0.710，判別的中率は93.3%となりモデルの高い有用性を示した。以下，これらの色彩が判別に貢献する理由を考察する。

尾鰭（L2-C4）の色度b*

図２に尾鰭（L2-C4）の色度b*の経時変化の様子を示す。

尾鰭（L2-C4）の色彩は天然トラフグと養殖トラフグ共に１時間経過時から72時間経過時迄継続して「暗い灰色」を呈した。各経過時間の組み合わせにおいて最も色差ΔE*abが小さいものは天然トラフグの72時間経過時と養殖トラフグの１時間経過時との間で1.74となり，最大は天然トラフグの48時間経過時と養殖トラフグの72時間経過時との間で2.97であった。そのため，並べて比較すると総ての経過時間の組み合わせで最低でも色彩の差異を感知し得るものとなる。

天然トラフグと養殖トラフグの尾鰭（L2-C4）の色度b*には72時間経過時迄継続して有意差（$P<0.01$）が確認された。また図２に示すとおり，天然トラフグの色度b*は養殖トラフグと比較して72時間経過時迄継続して高い値を示した。色度b*は正の値が黄方向，負の値が青方向の色相を示す。よって，天然トラフグの尾鰭（L2-C4）は養殖トラフグと比較して無彩色の程度（灰色）を強めており，両者の色度差Δb*が色差ΔE*abに大きく反映するものと言える。

以上から，ふぐ処理師は尾鰭（L2-C4）の色彩の程度から天然と養殖を判別するものと推察する。

Table 4 Construct of model at natural tiger puffer vs. cultivated tiger puffer

Explanatory variables		Standardised
Measuring points	Indices	discriminant coefficients
L2-C4	b*	0.507
acL3-C2	C*ab	0.172
(L3-C1)-(L3-C2)	ΔL*	0.237
〃	Δb*	-0.239
(acL3-C1)-(acL3-C2)	ΔH*ab	-0.385

c. r. =0.710, F=193.3, df=5, P<0.01

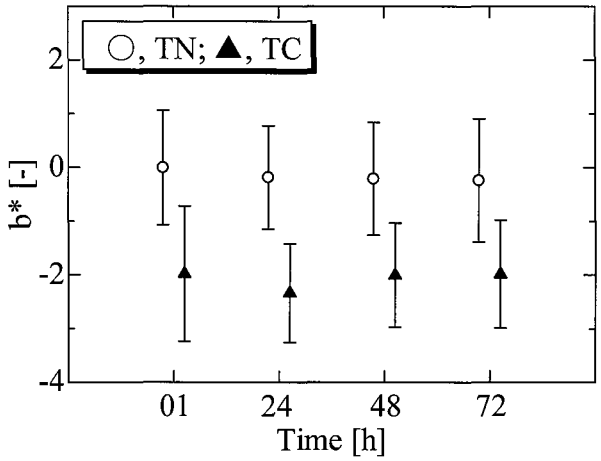


Fig. 2 Changes in chromaticity b* at caudal fin (L2-C4) of tiger puffers

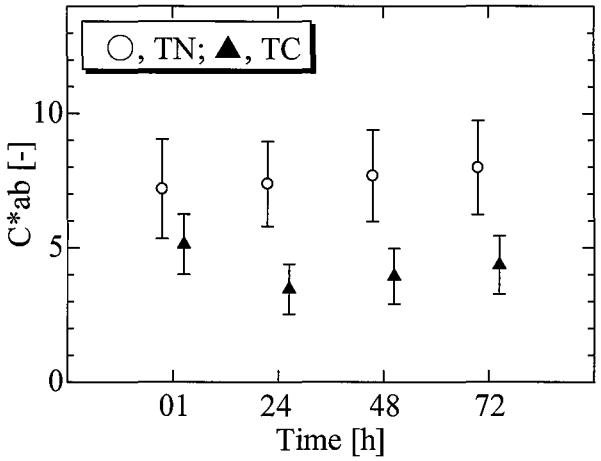


Fig. 3 Changes in chroma C*ab at abdominal cavity (acL3-C1) of tiger puffers

腹腔中央（acL3-C2）の彩度C*ab

図３に腹腔中央（acL3-C2）の彩度C*abの経時変化の様子を示す。

天然トラフグの腹腔中央（acL3-C2）は72時間経過時迄継続して「赤みの灰色」を，また養殖トラフグでは「紫みを帯びた赤みの灰色」を呈した。各経過時間の組み合わせにおいて最も色差ΔE*abが小さいものは１時間経過時の組み合わせで3.14，最も色差ΔE*abが大きかったものは天然トラフグの72時間経過時と養殖トラフグの24時間経過時の組み合わせで6.63となり，両者は最低でも著しく異なる色彩となる。また，両者の腹腔中央（acL3-C2）では色度a*，色度b*および彩度C*abが72時間経過時迄継続して有意差（P<0.01）が確認された。この色差ΔE*abには第１に色度a*が，次に色度b*が貢献しており，このことから彩度C*abに差異が生じることがわかる。

腹腔中央（acL3-C2）の彩度C*abは天然トラフグが養殖トラフグより継続して高くなった。これは採餌の影響，例えば甲殻類などのカルチノイド系色素を多く含む餌の摂取量の異差などが体色の違いとして表れた可能性も考えられる。

以上のことから，ふぐ処理師は腹腔中央（acL3-C2）の彩度C*abによって天然と養殖を判別するものと考える。

腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の明度差ΔL*と色度差Δb*

図４と図５にそれぞれ腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の明度差ΔL*と色度差Δb*の経時変化の様子を示す。

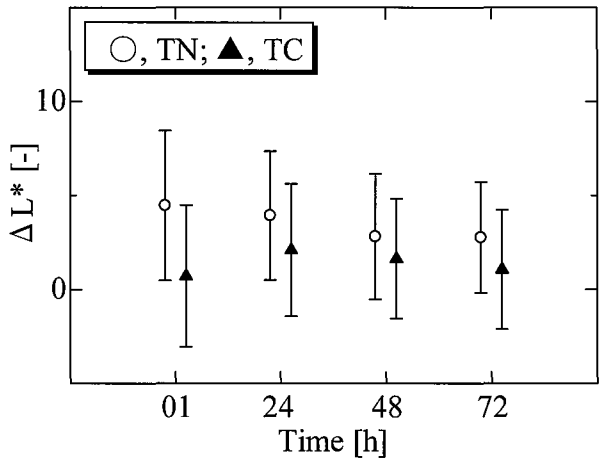


Fig. 4 Changes in difference of lightness ΔL* between measuring points of abdominal region (L3-C1) and (L3-C2) of tiger puffers

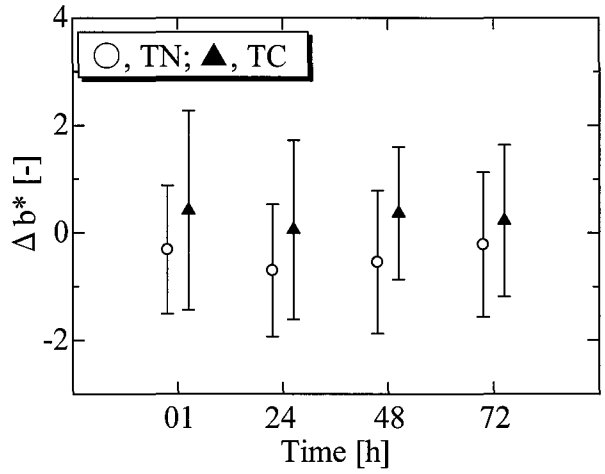


Fig. 5 Changes in difference of chromaticity Δb* between measuring points of abdominal region (L3-C1) and (L3-C2) of tiger puffers

天然トラフグの1時間経過時における腹部頭部寄り（L3-C1）の色彩は明度L*=53.41，色度a*=-1.32，色度b*=-2.65，また腹部中央（L3-C2）ではL*=48.95，色度a*=-0.29，色度b*=-2.33となり，共に72時間経過時迄継続して「青みの灰色」を呈した。腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の色差ΔE*abは1時間経過時から72時間経過時がそれぞれ4.58，4.05，2.91および2.82と減少するものの，2点間の色彩は最低でも感知し得る程に異なるものとなる。この2点間の明度差ΔL*は腹部中央（L3-C2）の明度L*の上昇に伴って1時間経過時の4.46から72時間経過時の2.77へと縮小するが，2点間の色差ΔE*abに大きく貢献する。同様に，2点間の色度差Δb*は0.22から0.69の範囲にあり，明度差ΔL*に次いで継時的に2点間の色差ΔE*abに貢献する。

一方，養殖トラフグの1時間経過時における腹部頭部寄り（L3-C1）の色彩はL*=51.85，色度a*=-0.92，色度b*=-2.31，また腹部中央（L3-C2）ではL*=51.15，色度a*=-0.82，色度b*=-2.72となり，共に72時間経過時迄継続して「青みの灰色」を呈した。腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の色差ΔE*abは1時間経過時から72時間経過時がそれぞれ0.83，2.09，1.68および1.12と天然トラフグよりも小さく，2点間の色彩の違いの程度も弱くなる。この2点間の明度差ΔL*は1時間経過時の0.70から72時間経過時の1.05へと僅かに拡大し，同様に2点間の色度差Δb*も0.06から0.41の範囲にあり，天然トラフグの場合より継時的な変化が小さい。

図4に示すとおり，腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の明度差ΔL*は天然トラフグが養殖トラフグより大きくなる。また，図5に示すとおり，腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の天然トラフグの色度差Δb*は負，また養殖トラフグは正となっている。よって，天然トラフグの2点間には若干の青方向の色相の差異が，逆に養殖トラフグでは黄方向の色相の差異が強いものといえる。天然トラフグと養殖トラフグの腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の色彩の差は明度差ΔL*，色度差Δb*の違いが大きく反映するものである。

以上より，ふぐ処理師は腹部内（L3-C1）－（L3-C2）の色彩の差異の程度を捉え，経験的に天然トラフグと養殖トラフグの判別を行うものと推察する。

腹腔内（acL3-C1）－（acL3-C2）の色相差ΔH*ab

図6に腹腔内（acL3-C1）－（acL3-C2）の色相差ΔH*abの経時変化の様子を示す。

天然トラフグの腹腔頭部寄り（acL3-C1）は72時間経過時迄継続して「青みの灰色」を呈し，腹腔中央（acL3-C2）では「赤みの灰色」を呈した。また，色相角度habは腹腔頭部寄り（acL3-C1）が平均で251°となり，腹腔中央（acL3-C2）が平均で42°となった。図6に示すとおり，天然トラフグの腹腔内（acL3-C1）－（acL3-C2）の色相差ΔH*abは経時的に上昇する傾向を示した。

一方，養殖トラフグでは腹腔頭部寄り（acL3-C1）は1時間経過時から72時間経過時迄継続して「青みの灰色」を呈したのに対して，腹腔中央（acL3-C2）では24時間経過時は「赤紫みの灰色」を，その他の経過時には「紫みを帯びた赤みの灰色」となった。また色相角度h_{ab}は腹腔頭部

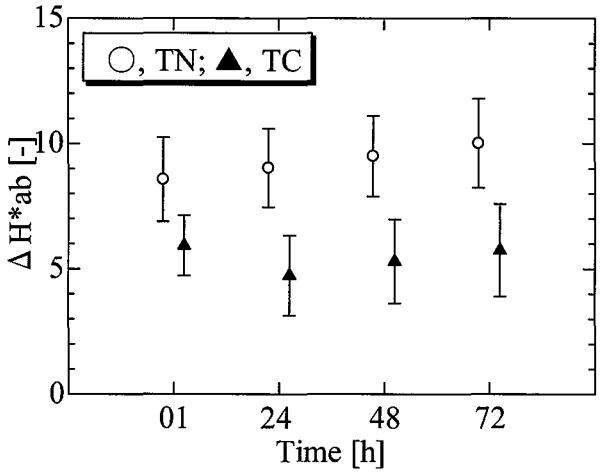


Fig. 6 Changes in hue difference ΔH*ab between measuring points of abdominal cavity (acL3-C1) and (acL3-C2) of tiger puffers

寄り（acL3-C1）が平均で249°，腹腔中央（acL3-C2）が平均で261°となった。養殖トラフグの腹腔内（acL3-C1）－(acL3-C2）の色相差ΔH*abは一旦下降した後，僅かに上昇する傾向を示した。

天然トラフグと養殖トラフグの色相角度h_{ab}は，腹腔頭部寄り（acL3-C1）では同程度のものとなる。一方，腹腔中央（acL3-C2）では天然トラフグが赤みの色相を呈するのに対して養殖トラフグではより青みが強い色相となった。天然トラフグと養殖トラフグの腹腔中央（acL3-C2）の色差ΔE*abは最も低いものが天然トラフグと養殖トラフグの１時間経過時の組み合わせで3.14である。そのため，腹腔中央（acL3-C2）の色彩は最低でも著しく異なるものとなる。

以上より，ふぐ処理師は腹腔頭部寄り（acL3-C1）の色相を基準とし腹腔中央（acL3-C2）との色相の差の程度に注視し天然と養殖の判別を行うものと推察する。

表５に２種間の判別分析モデルによる鑑別結果を示す。分析の対象は72時間経過時迄の延べ試料を用いた。各モデルを構成する総ての変数は１%未満のP値を確認しており，相関比は0.602から0.914迄の値を得た。表５に示すとおり，各２種間における判別的中率は天然トラフグとショウサイフグ，天然トラフグとシロサバフグの間，養殖トラフグとシロサバフグの間およびマフグとショウサイフグの間で100%となった。また，最も判別的中率が低い天然トラフグとマフグの間でも90.7%を得た。よって，相関比と判別的中率の高さから総ての２種間の判別分析モデルは有用であると言える。

表６に全５種に対する判別分析モデルの構成を示す。また図７に72時間経過時迄の全延べ試料に対しての判別分析モデルの関数１と関数２による散布図を示す。表６に示すとおり，モデルは16個の変数で構成されており，総ての変数で１%未満のP値を確認した。また，モデルの相関比は0.990，判別的中率は90.2%となり高い値を示した。表７に全５種に対する判別分析モデルによる72時間経過時迄の延べ試料に対する鑑別結果を示す。表７に示すとおり，天然

Table 5 Estimated results by the models which differentiate 2 kinds of puffers

Combination	TN vs. TC	TN vs. PP	TN vs. TP	TN vs. VP	TN vs. WP
Hitting rate [%]	93.3	90.7	96.3	100.0	100.0
Correlation ratio	0.710	0.602	0.761	0.879	0.891
Combination	TC vs. PP	TC vs. TP	TC vs. VP	TC vs. WP	PP vs. TP
Hitting rate [%]	96.7	94.3	99.8	100.0	96.9
Correlation ratio	0.748	0.721	0.892	0.914	0.751
Combination	PP vs. VP	PP vs. WP	TP vs. VP	TP vs. WP	VP vs. WP
Hitting rate [%]	100.0	99.4	98.5	98.5	99.8
Correlation ratio	0.879	0.834	0.831	0.829	0.847

Table 6 Construction of the discriminant analysis model which differentiates 5 kinds of puffers

Explanatory variables		Standardised discriminant coefficients				
Measuring points	Indices	1st vector	2nd vector	3rd vector	4th vector	5th vector
L1-C1	L*	-0.013	0.541	0.230	-0.279	0.130
	a*	0.093	0.574	0.097	0.329	0.353
L1-C2	L*	0.284	-0.172	-0.838	-0.148	-0.450
	a*	-0.237	0.323	-0.528	0.253	0.025
L2-C1	b*	0.417	0.025	0.316	-0.176	0.249
L2-C2	L*	-0.907	-0.224	0.414	0.323	0.073
	a*	-0.360	0.158	-0.158	0.001	0.017
L2-C3	L*	0.031	0.483	0.160	-0.736	-0.013
	a*	0.235	-0.107	0.040	-0.484	-0.066
L3-C1	L*	0.506	-0.150	-0.068	0.720	0.092
L3-C2	a*	0.307	0.066	0.621	0.085	0.022
acL3-C1	a*	0.353	0.200	-0.223	0.297	-0.240
acL3-C2	L*	0.512	-0.048	-0.189	0.159	-0.108
	b*	-0.144	-0.112	0.373	0.354	-0.152
(L2-C1)-(L2-C3)	ΔC*ab	-0.167	0.482	0.193	-0.390	0.082
(acL3-C1)-(acL3-C2)	ΔH*ab	0.200	0.377	-0.034	0.024	-0.787

c. r. =0.990, F=126.0, df=16, P<0.01

トラフグを養殖トラフグと誤判別したものが18尾，マフグを天然トラフグと誤判別したものが17尾，マフグをヒガンフグとしたのもが13尾，マフグを養殖トラフグとしたものが10尾となった。この中で特に誤判別が多い，天然トラフグを養殖トラフグとした18尾の内訳として，試料50尾のうち２尾が全４回の測定時間総てで誤判別，１尾が３回の測定時間で誤判別，残り７尾が１回の測定時間で誤判別となった。これらの試料のうち，３回以上の測定時間で誤判別となった３尾が誤判別となった理由として，まず全長が70mm～100mm程度で種苗放流されたトラフグ[21-23]が早い段階で漁獲され流通した可能性が考えられる。また，天然トラフグの漁場近くには養殖場も多いことから，逃避した個体が天然として流通した可能性があることも推察される。次に誤判別が多いマフグを天然トラフグとした試料の内訳は，試料85尾のうち１尾が３回の測定時間，３尾が２回の測定時間，８尾が１回の測定時間で誤判別となった。マフグを天然トラフグと誤判別した理由として，交雑種[24, 25]が漁獲され流通した可能性があること，また同じよ

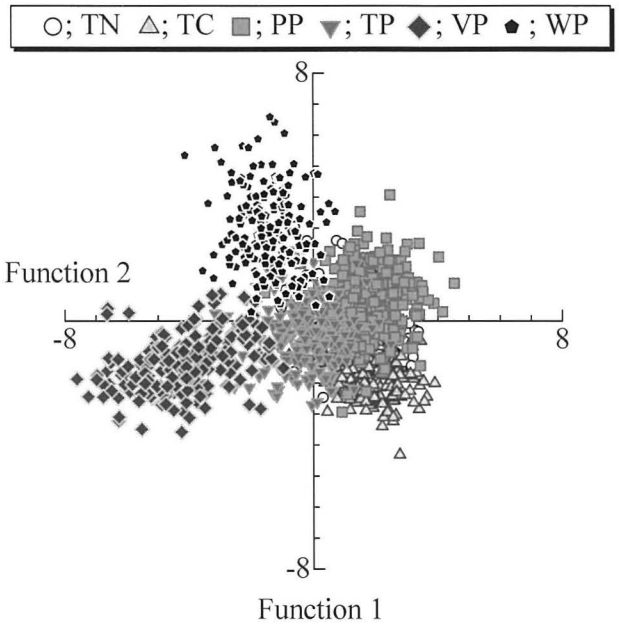


Fig. 7 Scatter diagram which composed of function 1 and function 2 of the discriminant analysis model

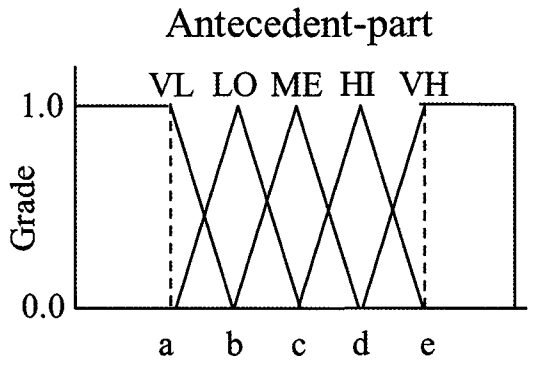
Table 7 Verification result using the discriminant analysis model which differentiates 5 kinds of puffers

		Predicted value						
	Species	TN	TC	PP	TP	VP	WP	Hitting rate [%]
Observed value	TN	**167**	18	9	0	0	6	83.5
	TC	9	**178**	7	6	0	0	89.0
	PP	17	10	**297**	13	0	3	87.4
	TP	3	5	1	**187**	1	3	93.5
	VP	1	0	0	6	**191**	2	95.5
	WP	4	0	0	7	0	**189**	94.5

うな生息域における採餌に起因すること等が考えられる。

鑑別モデルの有用性

図８に全５種のファジィ推論を用いた鑑別モデルのチューニング後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には表６に示した判別分析モデルの説明変数の組み合わせを用い，後件部変数には魚種を定めた。ファジィ規則の数は1,340個となった。鑑別モデルの推論の結果は，総ての魚種及び総ての測定時間で市場の流通実態と一致し100%となった。ふぐ処理師の肉眼鑑別は人間の主観に基づいて行われるものであり，定性的な推論であると言える。ファジィ推論はYES，NOの二者択一でなく，それらの中間の事象も程度をもたせて扱うことができ，「明るい」，「きれい」等の人間の主観を表現できる。特に色彩については非線形性が強く，この傾向も強まる。これらのことから，ファジィ推論はふぐ処理師の肉眼鑑別



Variables	a	b	c	d	e
L1-C1, L*	40.70	51.71	53.72	55.73	57.75
L1-C1, a*	-1.86	-1.21	-0.56	0.09	0.74
L1-C2, L*	48.80	50.61	52.41	54.21	56.02
L1-C2, a*	-1.91	-1.46	-1.01	-0.56	-0.10
L2-C1, b*	-3.08	-1.93	-0.77	0.39	1.54
L2-C2, L*	49.39	51.88	54.37	56.85	59.34
L2-C2, a*	-2.03	-1.58	-1.14	-0.69	-0.25
L2-C3, L*	51.33	53.46	55.59	57.72	59.85
L2-C3, a*	-1.56	-1.21	-0.86	-0.51	-0.16
L3-C1, L*	46.87	49.28	51.69	54.10	56.51
L3-C2, a*	-2.12	-1.40	-0.67	0.05	0.78
acL3-C1, a*	-1.97	-1.60	-1.24	-0.87	-0.51
acL3-C1, L*	43.78	46.04	48.30	50.55	52.81
acL3-C1, b*	-1.48	-0.54	0.39	1.33	2.27
(L2-C1)-(L2-C3), ΔC*ab	-4.04	-2.87	-1.69	-0.52	0.66
(acL3-C1)-(acL3-C2), ΔH*ab	5.45	6.58	7.70	8.82	9.94

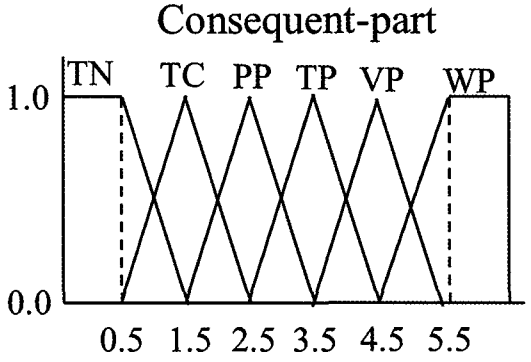


Fig. 8 Membership function for inferring the species of dressed puffers

に良く対応するものと考えることができ，ふぐ処理師の肉眼鑑別のモデル化にファジィ推論は有用となると言える。

結　言

本研究では，下関市の老舗ふぐ仲卸の習熟したふぐ処理師による身欠き後のフグ肉について，トラフグでは天然と養殖の判別を，また全５種のフグ類の種の鑑別について解析し，体表の色彩の特徴から鑑別することの可否について検討した。また，ふぐ処理師による肉眼鑑別を模した鑑別モデルの作成を試みた。その結果，身欠き後のフグ肉は色彩に種毎の特徴を有すること，ふぐ処理師による肉眼鑑別の精度は高いこと，ファジィ推論はフグ肉の色彩に基づく鑑別モデルに有用であることが明らかとなった。

現在，フグ肉の流通にはふぐ処理師の技が大きく貢献している。しかし，習熟したふぐ処理師の数は減少傾向にあることから，彼らが有する肉眼鑑別の技のモデル化が急がれる。また，身欠き処理を施した後のフグ肉はほぼ一様に灰色を基本とする無彩色を呈する。よって，素人には鑑別が容易ではなく，流通において所謂「フグ肉は身欠いた後は判らない」という意識が生じ易い。しかし，本研究でも示したとおり，フグ肉の肉眼鑑別は可能であることから，例えばふぐ処理師（調理師）の免許取得試験に身欠いた後のフグ肉の肉眼鑑別の試験項目を加えたり，フグ肉の鑑別システムを導入したり，或は店頭の小売り品に対するチェック体制を強化する等の行政の対応が期待される。しかし，それに際しては交雑種や種苗放流されたフグに対する扱いを明確にすることが必要となる。

謝　辞

実際にご協力を頂いた株式会社酒井商店（下関市）の酒井一社長と商店の皆様に感謝致します。本研究を遂行するにあたり，多くの実験とデータ解析に共に取り組んでくれた水産大学校海洋機械工学科４年生の大岩根寿倫君と機械情報システム研究室の皆様に深甚の謝意を表します。本研究の一部はJSPS科研費（25330302）の助成を受けたものです。

文　献

1）Jeffeys AJ, et al.: Individual-specific 'fingerprints' of human DNA. Nature, 316, 76-79（2005）
2）中村　誠，平雄一郎，他：鮮魚の熟練的品質評価に関する基礎的検討：アカアマダイの外観評価について．人間工学，43（5），261-267（2007）
3）中村　誠，太田博光，他：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）
4）中村　誠，太田博光，他：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）
5）Nakanura M, Ohta H, et al.: Quality Estimation of White Chestnut（*Lagocephalus wheeleri*）by Auctioneers. Fisheries Engineering, 45（2），119-128（2008）
6）中村　誠，太田博光，他：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　誠，太田博光，他：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．知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），26（4），781-792（2014）
8）環境衛生局長通達：フグ肉の衛生確保について．厚生労働省（1983）
9）本田俊一，市丸俊一，他：フグ鰭の毒性．食品衛生学雑誌，48（5），159-162（2007）
10）中村　誠，中村尭史，他：フグ肉の鑑定に関する基礎的検討．第46回日本人間工学会中国・四国支部講演論文集，110-111（2013）
11）中村　誠，鴻上健一郎，他：色彩によるフグ肉の鑑定について．人間工学，50（Supplement），418-419（2014）
12）中村　誠，鴻上健一郎，他：色彩によるフグ肉の肉眼鑑別に関する基礎的検討．人間工学，50（5），294-299（2014）
13）鴻上健一郎，中村　誠，他：色彩によるフグ肉の鑑別モデル．平成26年度日本人間工学会 中国・四国支部，関西支部合同大会 講演論文集，122-123（2014）
14）大岩根寿倫，鴻上健一郎，他：色彩に基づくフグ肉の鑑別モデルについて．第16回日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会 第19回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会 合同支部大会 予稿集，17-19，（2015）
15）L.A. Zadeh: Fuzzy Sets, Information and control. 8, 339-353（1965）
16）戸貝方規，太田政弘：100万人のファジィ．日刊工業新聞社，東京，42-59（1990）

17) Saito T, Arai K, et al: A new method for estimating the freshness of fish. Journal of Japanese Society of Scientific Fisheries, 24, 749-750 (1959)
18) 渡邊悦生 編著：魚介類の鮮度と加工・貯蔵. 成山堂書店, 東京, 1-27 (1998)
19) Mamdani. E. H.: Application of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant. Procedings of IEEE, 121, 1585-1588 (1974)
20) 日本規格協会: JIS8102物体色の色名. (2001)
21) 山口県, 報道発表: トラフグ稚魚に標識を付けて放流します. Retrieved January 7 (2014) available from http://.pref.yamaguchi.lg.jp/press/201306/025037.html
22) 愛媛県, トラフグの放流について. Retrieved January 7 (2014) available from http://www.pref.ehime.jp/h35149/250613fuguhouryuu.htm
23) 静岡県水産技術研究所, トラフグ. Retrieved January 7 (2014) available from http://www.orange.ne.jp/~ulotto/torafugu.html
24) Masuda Y, et al.: Occurrence of natural hybrid between pufferfishes, Takifugu xanthopterus and T. vermicularis, in Ariake bay. Kyushu, Japan, Nippon Suisan Gakkaishi, 57 (7), 1247-1255 (1991)
25) Wang J, et al.: Transfer profile of orally and intramuscularly administered tetrodotoxin artificial hybrid specimens of the pufferfish Takifugu rubripes and Takifugu porphyreus, J. of Japanese Society for Food Hygiene and Safety, 53 (1), 33-38 (2012)