

ケンサキイカの熟練的品質評価の解析とモデル化に関する基礎的研究

池田一朗^{1†}, 中村 誠², 森元映治², 原田和樹³, 前田俊道³, 嶋内 潤⁴

Fundamental analysis and modeling of a skillful quality evaluation of Swordtip squid by an auctioneer

Ichiro Ikeda^{1†}, Makoto Nakamura², Eiji Morimoto², Kazuki Harada³
Toshimichi Maeda³ and Jyun Shimauchi⁴

Abstract : Knowledge of experienced auctioneer regarding the circulation of marine products is an essential skill and is necessary for evaluating product quality and managing aspects such as freshness. In this study, the ability of an auctioneer to quickly evaluate the freshness of fish at fish markets was analyzed. Evaluation characteristics used by an auctioneer were characterized and analyzed using a fuzzy logic model. Sixty-two boxes containing 388 swordtip squid (*Loligo edulis*) with mantles measuring 200 mm that had been evaluated and assigned to one of five quality categories by an auctioneer were used for the analysis. The relationships between the evaluations of appearance (category), body color, and state of the chromatophores were statistically analyzed. It was found that a total of four indexes strongly reflected evaluations of appearance: chromatophore expression on the head, two different chroma states for two points on the mantle and the difference in the color of the mantle and the head. The fuzzy logic model used these indexes premise variable for the language rule. The results of both simulations and evaluations demonstrated that the model was robust, with the results predicted by the model corresponding with more than 90% of the quality assignments of the auctioneer.

Key Words : Quality evaluation, Chromatophore, Color, Modeling, Auctioneer

はじめに

経験豊富な魚市場の競り人は水産物の鮮度を魚体体色や目の濁りなどの外観から素早く判断し、その価値に見合った評価を下す。そこで、食品として水産物の摂取可能性を判定するには視覚が重要な役割を果たすと考えられる。即ち、鮮魚の外観は他の品質因子と同様に商品価値を決定するものとみなせる。よって、水産物の流通に関わる熟練者の知見は、特に鮮度等の品質の迅速な評価や管理のうえで有用となる。しかし、近年では厳しい労働環境が起因して若年漁業従業者数は減少の傾向にあり^{1), 2)}、知識の継承

と技術水準の維持は困難なものとなっている。水産物をおいしくかつ安全に消費者の手に届けるためにも、知識の継承と技術水準の維持・向上³⁾の観点に立った対策を講じることが極めて重要なことであると考えられる。

一般に水産物の品質評価に関する鮮度指標としてはK値が用いられる⁴⁻⁷⁾。しかし、結果を得るまでには、試料を採取するために魚体を傷つけ、商品価値を低落させる。またクロマトグラフィーなどの分析を経るためにかかりの時間を要するなどの問題がある。よって、魚市場のような生鮮度を重視するような場所では実用的ではない。

以上のことから、魚市場で即座に鮮魚の品質を見定める

2007年11月29日受付. Received November 29, 2007.

1 水産大学校水産学研究所 (Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University)

2 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University)

3 水産大学校食品科学科 (Department of Food Science and Technology, National Fisheries University)

4 山口県水産研究センター (Japan Sea Research Division, Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center)

† 別刷り請求先 (corresponding author) : m202201@c-port.fish-u.ac.jp

ことができる競り人の知識に着目し, この熟練の手法を取り入れた水産物の品質評価システムを構築することを目指した。本報では, ①山口県沖の日本海で漁獲量が多いこと, ②一般的な魚類の色素細胞と異なり頭足類の色素胞では単独の細胞ではなく, 色素囊, 放射筋, それらを取り巻く衛生細胞などからなる組織であること⁸⁾, ③これらの組織が漁獲後の取り扱いや保存条件, 経過時間などにより発現の挙動に大きく影響されることを考慮し, 対象魚をケンサキイカに定めた。著者らはこれまでに, 魚市場の競り人の品質評価カテゴリと魚体体表の色彩及び色素胞の発現状態との関係を統計的手法を用いて解析し⁹⁾, ファジィ推論¹⁰⁾を用いてモデル化を試みてきた¹¹⁾。その後, シミュレーションと評価実験を行いモデルの有用性について確認したのでその結果について報告する。

実験方法

ここで言う競り人は山口県漁業協同組合特牛魚市場の市場長とした。品質の評価尺度は5段階とし, 評価の高い群から順に第1群(優: Class 1), 第2群(良: Class 2), 第3群(並: Class 3), 第4群(やや劣: Class 4), 第5群(劣: Class 5)とした。試料魚にはケンサキイカ62箱(計388杯, 胴長 222.2 ± 30.8 mm, 体重 231.3 ± 57.4 g)を用いた。このうち39箱をモデルの設計に, また23箱を評価実験に用いた。Table 1に各群の試料魚の体格を示す。

Fig. 1に魚体体表の色彩の測定点を示す。これらの測定点は次のように定めた。まず, 胴部から頭部中心にかけての中心線に測定線(L1)を設け, 測定線(L1)と平行

かつ鱭の中央を通る測定線(L2)を設けた。その後鱭の中央と測定線(L1)と垂直となる測定線(C2)を引き, この測定線(C2)を基準とした。また頭部と眼球を結ぶ測定線(C5)も基準とし, この測定線(C2)と(C5)間を等間隔に3分割する平行線を測定線(C3, C4)と定め, 外套方向にも等間隔となる測定線(C1)を設けた。これらの測定線の交点(胴部4点, 頭部1点, 鱭1点)に加えて眼球1点を測定点とした。以下, 計7点の測定点は測定線の交点(例えば胴部内の頭部方向の測定点では記号により(L1-C4)となる)で表すものとする。

測定項目には, 魚体体表の色彩としてCIE1976に規定される明度指数 L^* , クロマティクネス指数 a^* , b^* を, また魚体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^* と2点の測定間の色差 ΔE^*_{ab} は各々式(1)と式(2)により求めた。なお, 色彩の測定点には接触式色彩計(測定径: 8mm, 測定精度: 色差 ΔE^*_{ab} が ± 0.07 以内)を, また輝度の測定には非接触式色測色差計(測定視野径: 19mm, 測定精度: $\pm 4\%$)を用いた。

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

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

なお, 2点の測定点のデータ(L^*_1, a^*_1, b^*_1)と(L^*_2, a^*_2, b^*_2)が与えられた際, Δa^* , Δb^* : 2点の測定点間の色度差($\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2$, $\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2$), ΔL^* : 2点の測定点間の明度差($\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2$)を表す。

Fig. 2に色素胞の発現状態を確認する領域を示す。各領域は胴部先端から頭部の足の付け根までの長さを横幅に, 胴部の幅を縦幅とし, この領域を細分化していくものとし

Table 1. Constitution of the sample fish

Class	[mean \pm standard deviation]		
	Trunk length (mm)	Weight (g)	Number of samples (Population/Cases)
1	240.7 \pm 40.8	248.7 \pm 73.4	84/13
2	227.9 \pm 24.1	251.3 \pm 61.4	80/13
3	222.9 \pm 19.3	224.5 \pm 34.0	80/13
4	210.5 \pm 29.2	223.3 \pm 46.4	82/13
5	207.6 \pm 23.4	212.4 \pm 46.4	62/10

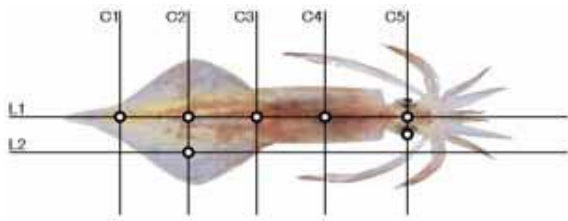


Fig. 1. Measuring points of color on the swordtip squid

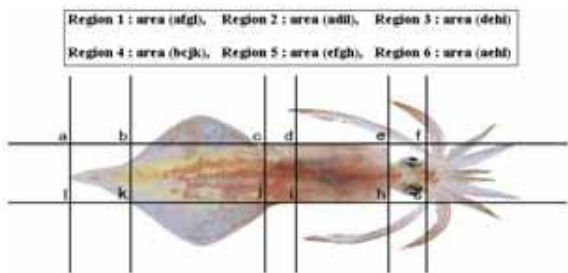


Fig. 2. Chromatophore state analyze regions

た。まず、ケンサキイカ全体の色素胞の発現の動向を見るため胴部先端から頭部と足の付け根までの領域1 (afgl) を設定した。次に初期の測定時間 (1時間) において胴部頭部方向が斑模様になっていたり、Fig. 1の測定線C3から胴部頭部方向にかけて色素胞の発現が見られないものがあるのを考慮して、胴部をFig. 1の設定線C3とC4の中間 (線di) で2分割した領域2 (adil) と領域3 (dehi) を定めた。更に鱭からの色素胞の発現への影響を考え、鱭に囲まれる胴部の領域 (線bkと線cjとの間) を領域4 (bcjk) と設定した。加えて頭部と胴部の部位の色素胞の発現の状態を見るため、領域5 (efgh) と領域6 (aehl) を与えた。なお、これらの領域の色素胞の発現状態を捉えるため写真撮影を行った。

魚肉の鮮度指標にはK値を用い、分析用の試料魚として13箱 (100杯) を供した。試料は1杯あたり、胴部から魚肉を1g採取した。これらの指標の測定は、水揚げから消費者の手に至るまでの時間を考慮して、各指標の経時的特徴を確認するため、色彩の測定にあたっては、競り終了時を起点として実験開始時間を1時間、4時間、8時間、12時間、24時間および48時間の各経過時、またK値の測定にあたっては、1時間、12時間、24時間および48時間の各経過時と定めた。測定環境は室温12℃、湿度50%RH、照度を300lxに保った恒温室内で行った。なお、測定以外の時間では、トレーに置いた試料魚を室温0℃に保った冷蔵室内で発泡スチロール製の容器内に氷納保管した。

解析方法

画像処理

魚体体表上の色素胞の発現状態を解析するため、各測定時間の写真を用いて次の手順で画像処理を行った。

- 1) 画像のロードとコピー (画像の取得と仮置き)
- 2) 前処理 (墨や陰などの除去)
- 3) 濃度変換 (画像改善)
- 4) 2値化 (計測対象物体の抽出)
- 5) 計測 (色素胞の面積比を計測)

濃度変換では画像の持つ濃淡情報を変化させてコントラストを強調し、2値化後に魚体体表の色素胞の発現状態を鮮明に捉えることを目標とした。各測定時間と各群の写真を見比べた結果、濃度変換値を式 (3) のように与えた。

$$\text{濃度変換値} = [15.0 - \text{胴部と頭部の計5点の彩度の平均}] \times (-3) \quad (3)$$

なお式 (3) 中の数値15.0はケンサキイカの魚体体表の彩度が最も高い状態になる目安の値である。この値は12時間経過時のケンサキイカの第3群の平均値を参考とする。

頭足類の表皮には、約0.5～2mmの色素胞が多数分布しており、大きく分けて黒色、赤色、黄色等の色素胞が存在する¹²⁾。写真より魚体体表の色彩は経時的に透明色から赤色に発色することが観察された。そこで、2値化処理のしきい値をRGB三刺激値のうちR値 (レッド) で解析するものとした。しきい値の値は、頭部 (領域5) の色素胞の発現による発色が胴部と較べて強く表れることを考慮し、RGB三刺激値のR値を170とし、それ以外の領域では200に設定した。

外観評価と魚体体表の色彩及び色素胞の発現状態の関係

まず、各測定時間における各指標の基本統計量を算出し、第1)～第5) 項に示す指標 (計106変量) について母平均の群間の比較と有意差の検定 (t分布の両側検定)¹³⁾ を行った。

- 1) 胴部: 計1点 (計5変量)
- 2) 測定点: 計7点 (計35変量)
- 3) 胴部内の2点の測定点間の差: 計6点 (計36変量)

- 4) 胴部—頭部間の2点の測定点の差:計4点(計24変量)
 5) 色素胞の発現状態を確認する領域:計6点(計6変量)
 なお,第1)項と2)項の変量は,輝度L,明度L*,色度a*,b*,彩度C*の5個の指標で構成され,第3)項と4)項の変量はこれらの指標の差分,輝度差 ΔL ,明度差 ΔL^* ,色度差 Δa^* , Δb^* ,彩度差 ΔC^* ,色差 ΔE^*ab の6個の指標から成る。

次にこれらの指標を説明変数として,競り人による外観評価を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(4)に判別関数の基本式を示す。

$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (4)$$

ここで,Z:判別関数, x_i :説明変数, a_0 :定数, a_i :判別係数である。説明変数の組合せの数は複雑化を避けるため4変数までとした。判別分析の結果,的中率(数理的結果と競り人の評価が一致した割合)が87.5%以上の組合せのうち,誤判別が隣群までに属し,母平均の群間差をよく反映する指標の組合せを絞った。その後,魚肉の変性(硬直,解硬,腐敗)に伴う表皮の色素胞の挙動の観点と競り人との協議の結果,変量の組合せを1組選定して,競り人の外観評価の構造を表すものとした。

外観評価と魚肉鮮度との関係

各測定時間における各群のK値の基本統計量を算出した後,母平均の群間の比較と有意差の検定により各群の鮮度の差異を確認し,外観評価に魚肉鮮度が反映するかを検討した。

モデルの設計方法

ファジィ推論モデルの作成にあたっては,前述の解析結果と競り人の意見を参考にして,先ず言語規則を作成するものとした。言語規則の基本式を式(5)に示す。

If *Color* is A_i and *Brightness* is B_j and *Pattern* is C_k then *Class* is D_l (5)

ここで,*Color*:色彩,*Brightness*:輝度,*Pattern*:色素胞の発現状態(面積比),*Class*:等級, $A_i \sim D_l$:ファジィラベルである。

前件部変数のメンバーシップ関数(以下,MFという)は計5個で構成し,MFのラベルは値の高いものから順にVH(Very High),HI(High),ME(Medium),LO(Low),

VL(Very Low)とした。各MFの形状は,魚類の指標の多くが正規分布する特徴を捉えて,次に示す1)~3)の手順¹⁵⁾で設計するものとした。なお確定演算方程式にはMin-Max重心法^{15),16)}を用いた。

- 1) 関数MEのグレード値1.0に平均値 V_{av} (各指標の平均値)を設定し,MEの台集合の幅を標準偏差 σ とした。
- 2) 関数MEの台集合の中心から σ ほど離れた位置に関数VHのグレード値1.0を, $-\sigma$ ほど離れた位置に関数VLのグレード値1.0を設定した。
- 3) 関数HIと関数LOとは,各々関数VHと関数MEとの間(関数MEの台集合の中心から $1/2\sigma$ ほど離れた位置),関数VLと関数MEとの間(関数MEの台集合の中心から $-1/2\sigma$ ほど離れた位置)を補うように設定した。

その後,設計したファジィ推論モデルについてシミュレーションと評価実験を行い,モデルの有用性を確認するものとした。

結果と考察

外観評価と魚体体表の色彩及び色素胞の発現状態の関係

Table 2に母平均の群間の比較と検定を行った結果,有意差が確認された指標の一覧を示す。Table 2より,競り人の外観評価には大きく分けて,頭部の色彩,胴部—頭部間の2点の測定点の色彩の差,胴部内の2点の測定点間の色彩の差がよく反映されており,その特徴は2点の測定点間の彩度差 ΔC^* ,明度差 ΔL^* 及び色差 ΔE^*ab ,色素胞の面積比に表れることがわかる。よって,競り人は評価の際に魚体上の色彩の差に着目することが確認された。このことは,死後のケンサキイカの色素胞は経時的に胴部内の外套から頭部方向に発現する傾向が強いことや,保存条件や取り扱いの問題によって外観が斑模様になるものは色彩の差として捉えやすい事実と対応する。

Table 3に示す色彩の指標を説明変数に用いて判別分析を行った結果,モデルの判別的中率は91.7%(24箱中22箱が正答)と高い確度を得た。モデルの誤判別(数理的結果と競り人の評価との不一致)は第1群の1箱が第2群に,第4群が第5群にと判別されるものであった。

- (a) 頭部の色彩,胴部—頭部間の色差,頭部色素胞の面積比

Table 4に頭部(L1-C5)の色彩の値を示す。ケンサ

Table 2. Index which confirmed significant differences of population means

Measuring points and indexes	Significant level
Chromatophore on the head ; Region	p<0.01
Head (L1-C5) ; b*	p<0.01
Trunk {(L1-C1) - (L1-C2)} ; Δ a*, Δ C*	p<0.01
Trunk {(L1-C1) - (L1-C3)} ; Δ L*	p<0.01
Trunk {(L1-C1) - (L1-C4)} ; Δ L*, Δ C*	p<0.01
Trunk {(L1-C2) - (L1-C3)} ; Δ a*, Δ C*	p<0.05
Trunk {(L1-C3) - (L1-C4)} ; Δ E*ab	p<0.01
Trunk - Head {(L1-C1) - (L1-C5)} ; Δ C*	p<0.01
Trunk - Head {(L1-C2) - (L1-C5)} ; Δ E*ab	p<0.05
Trunk - Head {(L1-C3) - (L1-C5)} ; Δ L	p<0.05

Table 3. Color of the each explanatory variables (elapsed 1 hour after the auction)

Indexes	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Chromatophore on the head	46.0	57.2	69.3	54.2	59.1
(L1-C1 - L1-C2) ; Δ C*	-0.23	-2.98	-2.72	-0.72	0.31
(L1-C1 - L1-C4) ; Δ C*	1.64	-1.97	-0.28	0.15	3.50
(L1-C2 - L1-C5) ; Δ E*ab	10.6	12.0	8.14	15.2	11.8

Table 4. Color of the each means on the head L1-C5 (elapsed 1 hour after the auction)

Indexes	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
L*	35.0	31.5	30.8	30.1	31.1
a*	8.35	10.7	12.5	12.9	10.4
b*	4.62	7.18	8.15	8.26	8.41
C*	9.96	13.0	15.0	15.3	13.6

キイカの頭部は漁獲直後の鮮度の高い状態では、黄みの赤方向の色相をもち、やや暗い灰色となる。この状態では十分な水分を保つことから、よく光を反射して全体的に輝きが強く見える。逆に、漁獲後の時間経過に伴い、魚体体表から水分が減じて徐々に粘性が増すと共に、色素胞の発現

が強く表れ、彩度が上昇してごく暗い色調となる。Table 4に示すとおり、評価が高い第1群の頭部(L1-C5)の色彩は、明度L*=35.0、色度a*=8.35、b*=4.62、彩度C*=9.96となり、他群(L*:30.1~31.5、C*:13.0~15.3)と比較すると明度L*が高く、彩度が低い。

Table 5 に評価の高い第1群と他群との色差 ΔE^*ab の程度を示す。表5に示すとおり第1群と他群との色差 ΔE^*ab は4.97~7.64の範囲にある。これらの色差の程度の評価は、「著しく異なる (appreciable)」から「きわめて著しく異なる (much)」となり、二者を比較した場合には視覚的によく群間の違いを捉えやすい。このことから競り人は頭部の色彩を基準として品質を見定めているものと推察される。

Table 6 に競り終了後1時間経過時における胴部-頭部間 $\{(L1-C2)-(L1-C5)\}$ の色彩の差を示す。評価の低い第4, 5群の色度差 Δa^* は各々-8.22, -3.65で、色

度差 Δb^* では各々-5.59, -3.64となり他群と比較して大きくなる。このことから、評価の低い群では頭部に較べて胴部の方が色素胞の拡散が遅い様子が窺える。Fig. 3 に胴部の外套方向の測定点 (L1-C2) と頭部 (L1-C5) との色差 ΔE^*ab の経時変化を示す。評価の低い第4, 5群の色差 ΔE^*ab は各々15.23, 11.75で高い値となることから、評価の高い群と評価の低い群とは識別しやすいといえる。よって、競り人はこの部位間における色素胞の発現状態を捉えて品質を見積もるものと推察される。

Fig. 4 に頭部色素胞の面積比 (領域5) の経時変化を示す。頭部における色素胞は時間経過に伴い上昇し、一定時

Table 5. Color difference of class interval on the head (elapsed 1 hour after the auction)

Class interval	ΔE^*ab	Evaluation of color difference
Class 1 - 2	4.97	Appreciable
Class 1 - 3	6.91	Much
Class 1 - 4	7.64	Much
Class 1 - 5	5.85	Appreciable

Table 6. Difference in color between point L1-C2 and point L1-C5 (elapsed 1 hour after the auction)

Indexes	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
ΔL^*	2.55	5.13	3.95	10.3	6.54
Δa^*	-2.55	-3.17	-3.54	-8.22	-3.65
Δb^*	-1.26	-1.36	-1.07	-5.59	-3.64
ΔC^*	-2.12	-3.07	-3.41	-8.63	-4.74

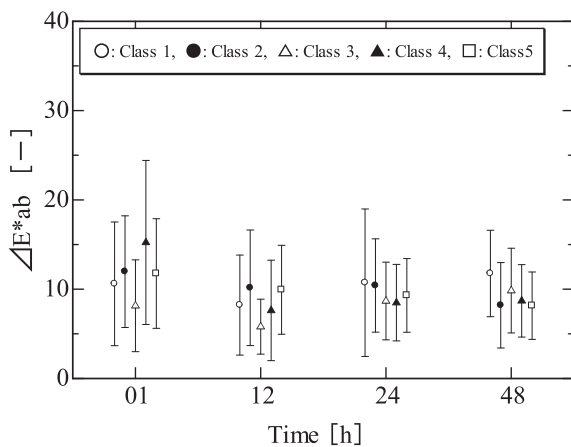


Fig. 3. Changes in color difference between point (L1-C2) and point (L1-C5) (mean \pm standard deviation)

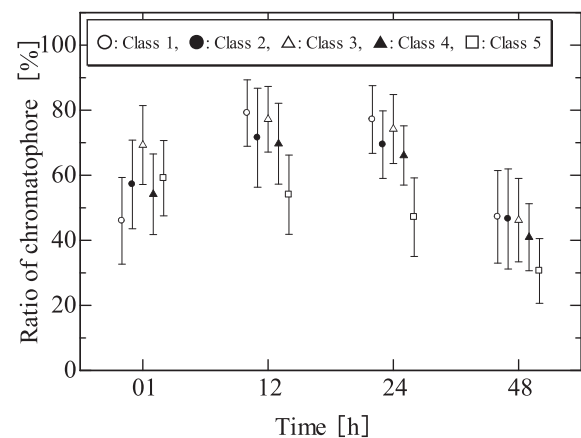


Fig. 4. Changes in ratio of chromatophore on the head (mean \pm standard deviation)

間経過すると徐々に下降する挙動を呈する。頭部は胴部と比較すると色素胞の発現の進行が速く、時間経過とともに発色の傾向が強くなる。Fig. 4に示すとおり、競り終了後1時間経過時における頭部色素胞の面積比は、第1群では46.0%と全群中で最も低く、第5群では59.1%と比較的高い値となった。しかし、第1群は12時間から24時間経過時までに色素胞の面積比は75%程度まで上昇する。逆に第

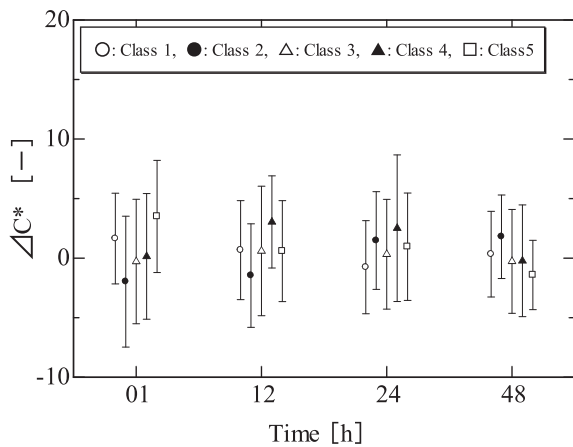


Fig. 5. Changes in difference in chroma between point (L1-C1) and point (L1-C4) (mean ± standard deviation)

5群では、やや経時的な色素胞の発現が見られるものの、12時間経過時には退色している。このことは、評価の低い群ほど経時的な色素胞の面積比上昇が見込めないことを示す。よって、競り人は頭部の色彩と色素胞の面積比をもとに品質を評価するものと考えられる。

(b) 胴部内の彩度差

Fig. 5に胴部内の2点の測定間{(L1-C1)–(L1-C4)}の彩度差ΔC*の経時変化を示す。1時間経過時において、胴部内の2点の測定点間{(L1-C1)–(L1-C4)}の色差ΔE*abは全ての群で約8.19~10.2までの範囲にあり、色差の程度評価でも「きわめて著しく異なる」と判断できる。これらは同じ部位内にあることから、色彩の差は視覚的に捉えやすいものと考えられる。

Table 7に胴部(L1-C1)と(L1-C4)の色彩を示す。競り終了後1時間経過時における第5群の外套方向の測定点(L1-C1)の色彩は、Table 7で示すとおり黄赤方向の色相をもち、やや暗い灰色の色調を呈する。これに対して測定点(L1-C4)の色彩は測定点(L1-C1)と比較すると彩度C*が低く、明度L*が若干高くなる。胴部内の2点の測定間{(L1-C1)–(L1-C4)}の彩度差ΔC*は第5群が最大で、続いて第1群となる。第5群では胴部の頭部方向で色素胞の発現にむらが生じたものと推察され

Table 7. Color of trunk (elapsed 1 hour after the auction)

(a) Trunk L1-C1

Indexes	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
L*	38.3	42.6	39.5	43.7	39.5
a*	5.18	4.47	5.98	3.52	6.68
b*	3.01	3.77	5.68	1.73	5.69
C*	7.61	6.91	8.86	6.00	9.20

(b) Trunk L1-C4

Indexes	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
L*	42.2	40.3	38.3	43.1	43.2
a*	4.20	6.74	6.61	3.91	4.20
b*	1.71	4.95	4.91	2.05	2.39
C*	5.97	8.88	9.14	5.85	5.70

る。逆に第1群は、胴部内の外套部方向に較べて頭部方向にまだ色素胞の発現がないため、彩度の差が顕著になったものとする。胴部内の2点の測定間 $\{(L1-C1)-(L1-C4)\}$ の彩度差 ΔC^* は経時的に消滅する傾向を呈することから、競り人の外観評価にはこれらの彩度差の経時的傾向が反映するものとする。

外観評価と魚肉鮮度との関係

Fig. 6 に魚肉鮮度K値の経時変化の様子を示す。イカの魚肉鮮度K値は、一般の魚類より高いとされる¹⁷⁾。また、漁獲直後から4日間は、イカの生鮮度とK値とは高い関連があることが報告されている¹⁸⁾。本実験の試料では、競り終了後から48時間経過した時点では、第5群が60%程度まで上昇する。また、競り終了後の1時間経過時では全群が45%程度の範囲内にあり、第4群、第5群は初期の時間帯

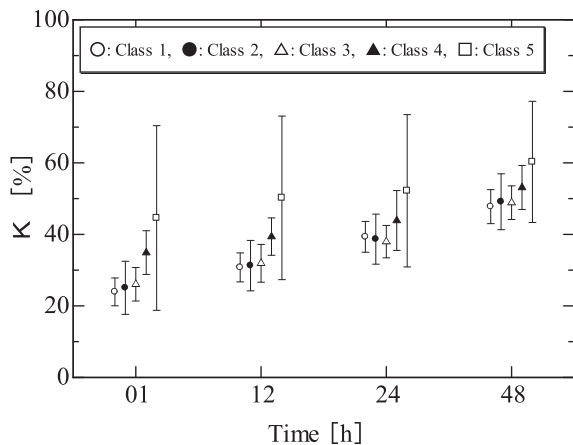


Fig. 6 . Changes in K-values (mean ± standard deviation)

から高い値を示しかつ分散も大きかった。1時間経過時において母平均に有意差 (P<0.01) が確認されたものは、第1群と第4群及び第5群との間、第2群と第4群及び第5群との間、第3群と第4群及び第5群との間であり、評価の高い群と低い群では顕著な違いが表れた。よって競り人の評価には魚肉鮮度、即ち品質が良好に反映されるものとする。

モデルの有用性

判別分析の結果、前件部変数は、①頭部色素胞の面積比、②胴部内 (L1-C1-L1-C2) ; ΔC^* 、③胴部内 (L1-C1-L1-C4) ; ΔC^* 、④胴部-頭部間 (L1-C2-L1-C5) ; ΔE^*ab の組み合わせが適切であると判断した。

Fig. 7 に設計したMFの構成例 (頭部色素胞の面積比) を示す。頭部色素胞の面積比の平均値 V_{mf} は53.4、標準偏差 σ は12.7であった。Table 8 にグレードが1.0になった各前件部変数のMFの値の一覧を示す。言語規則は計85規則で構成した。式 (6) に言語規則を例示する。

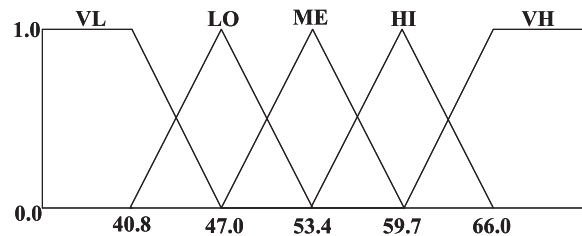


Fig. 7 . Membership functions (chromatophore expression on the head)

Table 8 . Premise variables for the language rules (Grade 1.0)

Indexes	VL	LO	ME	HI	VH
Chromatophore on the head	40.8	47.0	53.4	59.7	66.0
(L1-C1 - L1-C2) ; ΔC^*	-3.73	-2.61	-1.49	-0.38	0.74
(L1-C1 - L1-C4) ; ΔC^*	-2.15	-0.95	0.25	1.46	2.66
(L1-C2 - L1-C5) ; ΔE^*ab	6.63	8.35	10.1	11.8	13.5

Table 9 . Results of simulation and evaluation experiment

Division	Ratio	Error
Simulation	97.4% (38/39)	Class 1 → Class 2
Evaluation experiment	95.6% (22/23)	Class 5 → Class 4

Rule 1 If *Chromatophore expression on the head* is VL and ($L1-C1-L1-C2$); ΔC^* is VH and ($L1-C1-L1-C4$); ΔC^* is HI and ($L1-C2-L1-C5$); ΔE^*ab is VH then *Class* is 1

. . .

Rule 85 If *Chromatophore expression on the head* is VH and ($L1-C1-L1-C2$); ΔC^* is VH and ($L1-C1-L1-C4$); ΔC^* is HI and ($L1-C2-L1-C5$); ΔE^*ab is HI then *Class* is 5 (6)

Table 9 にモデルのシミュレーションと評価実験の結果 (チューニング後) を示す。モデルの正答率 (競り人の評価とモデルの推定結果が一致した割合) は各々97.4%と95.6%であり, 高い確度を得た。シミュレーションの誤推定は第1群の1箱が第2群に, また評価実験では第5群の1箱が第4群へと推定されるものであった。このように正答率が高く, かつ誤推定は全て隣接した群へのものであることから, モデルは十分に競り人の外観評価に対応するものと考えられる。

結 言

本研究は, 競り人による鮮魚の外観評価と同等な処理が可能な水産物の品質評価システムを構築することを目指すものであり, 本報ではケンサキイカを対象魚と設定して, 競り人による外観評価, 魚体体表の色彩と色素胞の発現状態及び魚肉鮮度との関係を調査した。その結果, 競り人の外観評価を表現し得る指標として体表における色素胞の発現状態 (1点) と色彩の差 (3点) とを抽出し, これらをファジィモデルの前件部変数とした。モデルに対するシミュレーションと評価実験の確度は極めて高いものとなった。これらのことから, 競り人の知識を品質評価システムに活かすことは有用な手法と言え, 同様な手法で多くの魚種に対してモデル化を図ることにより, 熟練的品質評価に相当するシステムの構築が可能であると示唆された。また, これらのシステムを卸売市場で活かすことで, 水産物流通の効率化や高度化が見込め, 労働環境の改善も期待できる。

謝 辞

本研究にご協力を頂いた山口県漁業協同組合特牛魚市場皆様に感謝します。また, 魚肉鮮度 (K値) の分析に快く

ご支援いただいた水産大学校食品科学科の原田研究室の皆様にご心から感謝を申し上げます。

なお, 本研究は科学技術研究費補助金 (No.18500185) の助成によるものです。

文 献

- 1) 水産庁: 水産白書~我が国の食文化を守るために~, 農林統計協会, 東京, 69 (2007)
- 2) 水産庁: 水産白書. 農林統計協会, 東京, 90 (2006)
- 3) 水産庁: 水産施策. 農林統計協会, 東京, 14 (2007)
- 4) 渡邊悦生: 魚介類の鮮度と加工・貯蔵. 成山堂書店, 東京 (1998)
- 5) Saitou T, Arai K, Matsuyoshi M: A new method for estimating the freshness of fish. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 24, 749-750 (1959)
- 6) 濱田奈保子, 大熊廣一, 渡辺悦生: K値を用いる魚肉の生可食限界の推定に関する理論的考察. 日本食品科学工学会誌, 51, 495-504 (2004)
- 7) Cesarettin A, Anthory T, Fereidoon S: Comparative quality assessment of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) stored in ice. *J Agric Food Chem*, 50, 2039-2045 (2002)
- 8) 中添純一: 水産物の品質・鮮度とその高度保持技術. 恒星社厚生閣, 東京 (2004)
- 9) 中村 誠, 池田一朗, 森元映治: 頭足類の熟練的品質評価の解析. 日本人間工学会第48回大会論文集, 298-299 (2007)
- 10) 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, 1-82 (1990)
- 11) 中村 誠, 池田一朗, 橋立知典: 頭足類の熟練的品質評価のモデル化に関する基礎的検討. 第23回FSS講演論文集, 46-47 (2007)
- 12) 藤井良三: 色素胞. 東京大学出版会, 東京 (1977)
- 13) 鳥居康彦: はじめての統計学. 日本経済新聞社, 東京 (2003)
- 14) 中村 誠, 酒井義郎, 藤本正克: 魚類乾燥予測モデルの構成. 計測自動制御学会論文集, 31, 1778-1786 (1995)
- 15) Mamdani EH: Applications of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant. *Proc of IEEE*, 121, 1585-1588 (1974)
- 16) 藤吉敏生: ファジィ制御. 日刊工業新聞社, 東京

- (1993)
- 17) 渡邊悦生：魚介類の鮮度判定と品質保持. 恒星社厚生閣, 東京 (1995)
- 18) Yokoyama Y, Takahashi S, Sakaguchi M : Postmortem

changes of ATP and its related compounds and freshness indices in spear squid *Doryteuthis bleekeri* muscles. *Fish Sci*, **60**, 583-587 (1994)

記 号

・色彩

- a^* : 色度 (緑方向から赤方向)
- b^* : 色度 (青方向から黄方向)
- C^* : 彩度
- L : 輝度 (cd/m^2)
- L^* : 明度
- Δa^* : 色度の差
- Δb^* : 色度の差
- ΔC^* : 彩度の差
- ΔE^*_{ab} : 色差
- ΔL : 輝度の差
- ΔL^* : 明度の差

・生鮮度指標

- K : 魚肉鮮度 (%)

・判別分析

- a_0 : 定数
- a_i : 判別係数
- x_i : 説明変数
- Z : 判別関数

・画像処理

- R : レッド (三刺激値)

・ファジイ

- A_i : ファジイラベル
- B_i : ファジイラベル
- C_i : ファジイラベル
- D_i : ファジイラベル
- HI : ファジイラベル
- LO : ファジイラベル
- ME : ファジイラベル
- VH : ファジイラベル
- VL : ファジイラベル
- MF : メンバーシップ関数
- V_{MW} : 各指標の平均値
- σ : 標準偏差