

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 7 日現在

機関番号：85502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330302

研究課題名(和文) 鮮魚の流通における品質推定とソフトコンピューティングによるモデル化に関する研究

研究課題名(英文) Quality Estimation Support Models of Fresh Fish in the Distribution Using Soft Computing

研究代表者

中村 誠 (NAKAMURA, Makoto)

独立行政法人水産大学校・その他部局等・教授

研究者番号：40399639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：鮮魚の流通において、鮮魚の魚肉鮮度(K値)を魚体の色彩を基にして非破壊でリアルタイムに推定するモデルについて検討した。魚体の色相の異なる6魚種を試料として、冷蔵温度が-2、+2、+6の3条件下で72時間経過時迄の魚肉鮮度と体表の色彩との関係を統計的手法により調査した。魚肉鮮度と関連する色彩の組合せを用いて魚肉鮮度を推定するファジィ推論モデルを作成して実験により評価した結果、高い推定精度を得た。このことから、魚体の色彩を基に魚肉鮮度を推定することは可能であり、その場合はファジィ推論を用いたモデルが有用となることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Models which ensure accurate non-destructive estimates of the freshness of fish meat (K value) in real time are proposed to improve quality control and maintain the skill level of distributors of marine products. Six kinds of fish, each differing with respect to the hue of the fish body surface, were used to construct the models. Relationships between fish coloration and K values from sample acquisition until 72 hours later under refrigeration at -2, +2, and +6 were investigated. The fuzzy inference models to estimate the K-value of fish meat based on the coloration of the fish body surface were designed on the basis of these results, and the usefulness of each model was evaluated. For all models, a high estimation accuracy was confirmed, demonstrating their potential usefulness for quality control in the distribution of marine products.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：ファジィ推論 鮮魚 品質推定 モデル化

### 1. 研究開始当初の背景

生鮮魚類の鮮度は時間経過に伴って急速に低下するため、生産から消費に至るまでの流通においては十分に品質管理をする必要がある。しかし、現在水産関連業界では厳しい労働環境に起因して所謂鮮魚の目利きは少なくなっており、鮮魚の品質を外観から即座に見積もる等の技術の継承や技術水準の維持に問題を抱えている。

### 2. 研究の目的

そこで、本研究ではこれらの問題に対処することを目的として、魚市場や仲卸業者等における品質管理、一般消費者の鮮魚購入時の品質推定を支援するシステムの構築を目指している[①,②]。具体的には、魚体表の色彩を基に非破壊でかつリアルタイムに魚肉鮮度 K 値を推定することを可能とするモデルの作成の試みである。本研究では近海で漁獲された6魚種を対象として、魚体表の色彩から K 値を見積もることの是非について検討すると共に、魚体表の色彩を変数に定めて K 値を推定するファジィ推論モデル(以下、モデルという)[③]を作成してその有用性を評価した。

### 3. 研究の方法

(1) 試料には近海で漁獲された体表の彩度が異なるアカアマダイ(338.3 ± 24.9mm, 484.5 ± 101.7g, n=82), マダイ(415.7 ± 86.2mm, 1059.4 ± 645.9g, n=138), シロサバ(315.7 ± 18.7mm, 464.9 ± 83.0g, n=82), イサキ(329.4 ± 29.1mm, 515.1 ± 121.3g, n=149), マアジ(273.7 ± 36.2mm, 217.3 ± 85.3g, n=155)およびウマヅラハギ(284.6 ± 30.3mm, 333.8 ± 118.5g, n=158)の計6魚種を用いた。この内、マダイ、イサキおよびウマヅラハギの一部には即殺処理をしてからの経過時間を管理した試料も加えた。

測定項目には魚体表の色彩とK値とを定めた。図1に体表に設定した色彩の測定点を示す。色彩の測定指標には CIE1976L\*a\*b\* 表色系を用いるものとし、明度 L\*, 色座標(以下、色度という) a\*と b\*を測定した後、彩度 C\*<sub>ab</sub>, 色相角度 h および 2点間の色差 ΔE\*<sub>ab</sub> は各々式(1)から式(3)により求めた。K値の測定では、試料片を色彩測定裏面から測定毎に魚肉 1g を採取して分析に供した。色彩とK値の測定は試料入手後2時間、24時間、48時間および72時間の各経過時とした。試料は冷蔵温度 -2°C, +2°C および +6°C の3条件の下、発泡スチロール製の魚箱に下氷をして保管した。

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

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

$$\Delta E^*_{ab} = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2} \quad [-] \quad (3)$$

(2) 解析に用いる色彩は、次の第1)項~第3)項に定める計20点とした。

1) 測定点: 計9点

2) 部位内の2点の測定点間の差: 計5点

3) 部位間の2点の測定点間の差: 計6点

色彩とK値の関係は、先ず各測定時間における各指標の基本統計量を算出して、相関分析と無相関の検定により確認した ( $p < 0.01$ , 又は  $p < 0.05$ )。次に関連が確認された色彩については冷蔵温度3水準と経過時間4水準とする二元配置分散分析と多重比較を行って冷蔵温度と経過時間の及ぼす影響を検討すると共に、モデル化に有用となり得る色彩を検索した。ここで、等分散性と多重比較の検定では、各タービン検定とシェッフエの検定を用いるものとした。

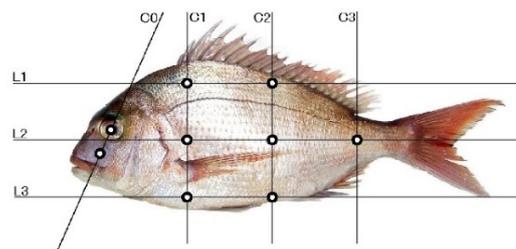


図1 色彩の測定点

(3) モデルの前件部変数の組合せは、先の有用性を確認した色彩を説明変数に、またK値を目的変数に定めた重回帰分析により抽出するものとした。式(4)に重回帰式の基本式を示す。

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad [%] \quad (4)$$

ここで y は目的変数 (K 値),  $a_0$  は定数項,  $x_i$  は説明変数 (色彩) である。説明変数の数はモデルの複雑化を避けるために7個程度迄を目安とし、モデルの前件部変数の組み合わせは重回帰式の決定係数  $R^2$  の高さの説明変数の P 値 ( $p < 0.01$ ) の構成の両面から最も適切と見なせるものを選択した。

式(5)にモデルの言語規則の基本構成を示す。

If Lightness is  $A_i$  and Hue is  $B_i$  and Chroma is  $C_i$  and Color difference is  $D_i$ ; THEN K value is  $E_i$  (5)

ここで、 $A_i \sim E_i$  はファジィラベルである。前件部変数には色彩の組合せを、また後件部変数にはK値を定めている。前件部変数のメンバーシップ関数(以下、MFとする)は計5個として各MFの台集合は標準偏差  $\sigma$  を基本に構成し[④]、また後件部変数のMFは計7個として各MFの台集合は72時間経過時迄のK値の最大値と最小値を基に構成した。なお、確定演算方式には min-max 重心法[⑤]を用いるものとし、モデルによる推定値と観測値とに大きな残差  $\varepsilon$  (式(6))を認めた場合には、前件部変数のMFの台集合をチューニングして推定精度を高めるものとした。

$$\varepsilon = |K - K_i| \quad (6)$$

ここで K は観測値,  $K_i$  は推定値である。

#### 4. 研究成果

(1) 図2に試料入手後約2時間経過時における魚体体表の色彩の分布を示す。眼(E)を除いた各試料魚の体表の彩度  $C^*_{ab}$  の平均はアカアマダイ、マダイ、シロサバフグ、イサキ、マアジおよびウマヅラハギの順にそれぞれ 12.84, 12.20, 11.47, 8.13, 5.74 および 4.00 となった。図2より彩度  $C^*_{ab}$  の高い魚種は明度  $L^*$  も高く、彩度  $C^*_{ab}$  の低い魚種は明度  $L^*$  も低い傾向にあることがわかる。部位別では、明度  $L^*$  は腹部が最も高く、背部が最も低い分布となった。また彩度  $C^*_{ab}$  は、アカアマダイ、マダイ、シロサバフグおよびマアジでは体幹部が最も高く、腹部が最も低い分布に、イサキとウマヅラハギでは腹部最も高く、背部が最も低い分布となった。これらの魚体の色彩の分布に起因して、魚肉鮮度の劣化の特徴は相対的に体幹部に関わる色彩に表れ易くなる。同様に、魚肉鮮度の劣化の特徴は彩度  $C^*_{ab}$  の高い魚種では頭部寄り(列C1)と体央(列C2)上の色彩に、また彩度  $C^*_{ab}$  の低い魚種では体央(列C2)上の色彩に表れ易い傾向を有している〔6〕。

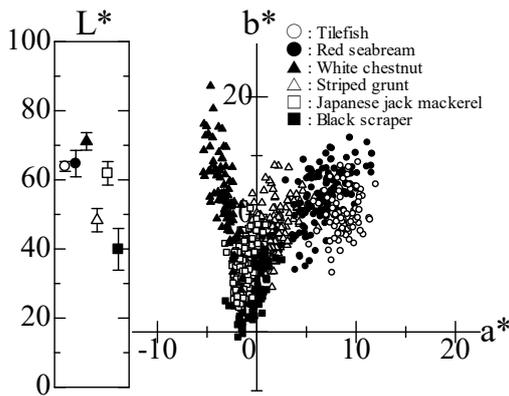


図2 色彩の分布 (2時間経過時)

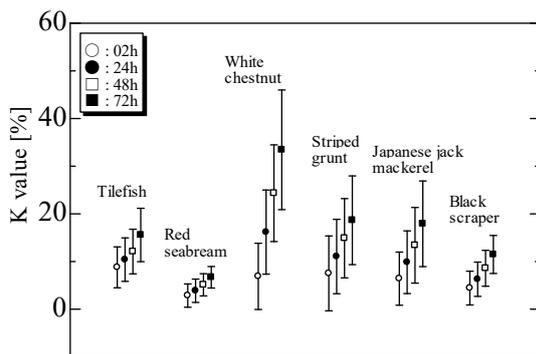


図3 K値の経時変化 (冷蔵温度 2°C)

図3に冷蔵温度+2°CにおけるK値の経時変化の様子を示す。72時間経過時迄のK値の平均上昇速度は魚種毎に大きく異なり、アカアマダイ、マダイ、シロサバフグ、イサキ、マアジおよびウマヅラハギの順に 0.09%/h, 0.05%/h, 0.37%/h, 0.16%/h, 0.16%/h および 0.10%/h となった。また、図3に示すとおり、K値の平均上昇速度が速い魚種は分散が大

きくなる傾向を呈した。なお、他の冷蔵温度においても同様の傾向が確認された。

表1 K値との関連が確認された色彩 (アカアマダイ)

測定点	色彩
L1-C1	$L^*, h$
L1-C2	$L^*, a^*, C^*_{ab}, h$
L2-C0	$L^*, b^*, C^*_{ab}, h$
L2-C1	$L^*, a^*, b^*, C^*_{ab}$
L2-C2	$L^*, a^*, b^*, C^*_{ab}, h$
L2-C3	$L^*, a^*, b^*, C^*_{ab}$
L3-C1	$h$
L3-C2	$a^*, b^*, C^*_{ab}, h$
E	$b^*, C^*_{ab}$
(L1-C1)-(L2-C1)	$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*, \Delta C^*_{ab}, \Delta h$
(L1-C2)-(L2-C2)	$\Delta a^*, \Delta b^*, \Delta h$
(L1-C1)-(L3-C1)	$\Delta L^*, \Delta b^*, \Delta h$
(L1-C2)-(L3-C2)	$\Delta h$
(L2-C1)-(L3-C1)	$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*, \Delta C^*_{ab}, \Delta E^*_{ab}, \Delta h$
(L2-C2)-(L3-C2)	$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta C^*_{ab}$
(L2-C1)-(L2-C2)	$\Delta h$
(L2-C1)-(L2-C3)	$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*, \Delta C^*_{ab}$
(L2-C2)-(L2-C3)	$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta C^*_{ab}, \Delta h$
(L3-C1)-(L3-C2)	$\Delta C^*_{ab}$

表1に72時間経過時迄継続してK値との関連が確認されたアカアマダイの色彩の一覧を例示する。表1に示すとおりアカアマダイでは計61個の色彩が、また他の魚種でも計55個から計87個の色彩がK値との関連を示した。表2において下線を施した計7個の色彩はアカアマダイのモデルの変数に用いたものである。以下、アカアマダイのモデルの前件部変数に定めた二つの色彩について考察する。

(2) 図4にアカアマダイの測定線C1上の測定点、背部(L1-C1)と体幹部(L2-C1)の彩度  $C^*_{ab}$  の経時変化の様子を示す。体幹部(L2-C1)の色彩は2時間経過時にはやわらかい黄赤色であったのに対し、72時間経過時には明るい灰みの黄赤に変化した。体幹部(L2-C1)の彩度  $C^*_{ab}$  は2時間経過時から72時間経過時にかけて平均で4.66低下し、2時間経過時と72時間経過時との間に有意差 ( $p < 0.01$ ) が確認された。また、体幹部(L2-C1)の色度  $a^*$  は2時間経過時から72時間経過時にかけて平均で3.90低下し、色度  $b^*$  は平均で2.63低下した。よって、体幹部(L2-C1)の彩度  $C^*_{ab}$  は色度  $a^*$  と  $b^*$  の経時的な変化を反映して規則的に変化していると言える。一方、図4に示すとおり、背部(L1-C1)の彩度  $C^*_{ab}$  には経時的な変化は確認されなかった。

以上より、背部(L1-C1)の彩度  $C^*_{ab}$  を基準とすると、背部(L1-C1)と体幹部(L2-C1)の間の彩度  $C^*_{ab}$  の変化がK値の経時的変動に良く対応するものとなり、彩度差  $\Delta C^*_{ab}$  はK値を推定する変数として有用である。

(3) 図5にアカアマダイの頭部(L2-C0)の明

度  $L^*$  の経時変化の様子を示す。図 5 に示すとおり、24 時間経過時から 72 時間経過時にかけて明度  $L^*$  は 1.70 上昇し、24 時間経過時と 72 時間経過時の間に有意差 ( $p < 0.01$ ) が確認された。また、2 時間経過時と 24 時間経過時の間には有意差は確認されず、2 時間経過時と 72 時間経過時の間には有意差 ( $p < 0.01$ ) が確認された。この様に、24 時間経過時以降に明度  $L^*$  は経時的に上昇し、K 値との相関分析では 72 時間経過時迄で正の相関 ( $r = 0.314$ ,  $p < 0.01$ ) を示した。さらに、(L2-C0) の明度  $L^*$  は 2 時間経過時、24 時間経過時、48 時間経過時および 72 時間経過時の何れの時間帯においても K 値と正の相関 ( $p < 0.05$ , 各々  $r = 0.257, 0.296, 0.280, 0.337$ ) を確認した。よって、頭部 L2-C0 の明度  $L^*$  は K 値の経時的変動だけでなく、K 値の僅かな変化にも対応するものとなり、K 値の推定に貢献する。

以上、背部 (L1-C1) と体幹部 (L2-C1) の彩度差  $\Delta C^*_{ab}$ 、頭部 (L2-C0) の明度  $L^*$  等の色彩をモデルの変数として用いることで、アカアマダイの K 値を推定することが可能であると考える。

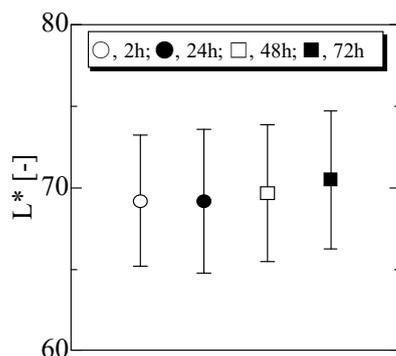


図 4 背部 (L1-C1) - 体幹部 (L2-C1) の彩度差  $\Delta C^*_{ab}$  の経時変化 (アカアマダイ)

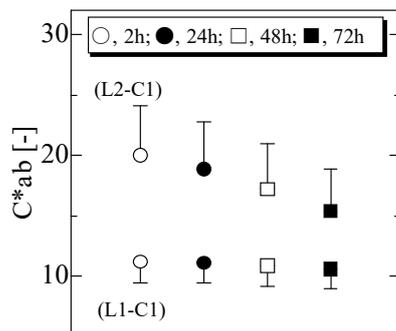


図 5 頭部 (L2-C0) の明度  $L^*$  の経時変化 (アカアマダイ)

(4) 表 2 に各試料の重回帰式 (M. R. A.) により K 値を予測した結果と、重回帰式の説明変数を前件部変数として用いたモデル (F. I. M.) による推定結果を示す。表 2 中の Ave, Min および Max は各々観測値との残差  $\epsilon$  の平均値, 最小値および最大値を表す。各試

料の重回帰式の重相関係数  $r$  はシロサバフグが 0.448 と最も低く、最大はイサキの 0.695 で、他の魚種も 0.6 以上 0.7 未満の範囲にあった。モデルの前件部変数の数はアカアマダイが最多で計 7 個、ウマヅラハギが最少で計 5 個、その他の魚種が各々計 6 個となった。表 2 に示すとおり、総ての魚種でファジィ推論モデルの方が重回帰式よりも高精度を得た。モデルの方が重回帰式より良好な推定結果が得られた理由としては、本研究で色彩の測定に用いた CIE1976  $L^*a^*b^*$  表色系は人の眼の刺激に対して対数的な対応性を模倣する目的で明度、色相および彩度という心理メトリック量で構成された 3 次元の近似的な色空間であることから、モデルの前件部変数を構成する MF の台集合のチューニングで良く適応したこと、即ち非線形性に強いファジィ推論の特徴が表れたものと推察する。よって、体表の色彩から K 値を推定することにファジィ推論を適用することは有用であると考えられる。

表 3 モデルの評価結果

(a) 設計時

		TF	RS	WC	SG	JM	BS
M. R. A.	Ave.	3.2	1.6	6.8	5.2	5.1	3.3
	Min.	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	Max.	10.1	6.3	27.7	23.4	26.3	15.6
F. I. M.	Ave.	1.2	0.9	3.6	1.7	2.3	2.0
	Min.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Max.	3.6	3.9	16.2	6.5	15.7	9.4

(b) 評価実験

		TF	RS	WC	SG	JM	BS
F. I. M.	Ave.	1.2	0.9	3.4	1.8	1.8	1.9
	Min.	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	Max.	3.3	4.5	18.8	7.1	10.2	7.4

TF, アカアマダイ; RS, マダイ; WC, シロサバフグ; SG, イサキ; JM, マアジ; BS, ウマヅラハギ

本研究では近海で漁獲された 6 魚種を対象として、魚体体表の色彩から K 値を見積もることの是非について検討すると共に、K 値を推定するファジィ推論モデルの有用性を評価した。その結果、幾つかの体表の色彩を組み合わせて K 値を見積もることは可能であること、また K 値の推定には前件部変数に色彩の組合せを、後件部変数に K 値を定めた構成のファジィ推論モデルが有用となることを明らかにした。

<引用文献>

- ① M. Nakamura, et al.: Quality estimation model of white chestnut (*Logocephalus wheeleri*) by auctioneers, *Fisheries Engineering*, 45(2), 2008, 119-128
- ② M. Nakamura, et al.: Model of auctioneer estimation of sword tip squid (*Loligo edulis*) quality, *Kansei Engineering Int. J.*, 10(2), 2011, 99-107
- ③ L. A. Zadeh: Fuzzy sets, *Information*

and control, 8, 1965, 338-353

- ④ 中村 誠, 他 3 名: 魚類乾燥予測モデルの構成, 計測自動制御学会論文集, 31(10), 1995, 1778-1786
- ⑤ H. E. Mamdani, S. Assilian: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, Int. J. Man Machine Studies, 7, 1974, 1-13
- ⑥ 中村 誠, 他 6 名: 鮮魚の熟練の品質評価の解析—彩度の低い魚種の外観評価について—, 人間工学, 48(3), 2012, 142-149

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 明田川雅子, 中村 誠, 太田博光, 前田俊道, 鮮魚の流通における品質推定支援モデル, 水産大学校研究報告, 査読有り, 64 巻, 2015, 9-27
- ② 鴻上健一郎, 中村 誠, 太田博光, 徳永憲洋, 前田俊道, 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, 水産大学校研究報告, 査読有り, 64 巻, 2015, 29-45
- ③ 中村 誠, 鴻上健一郎, 明田川雅子, 太田博光, 徳永憲洋, 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, 査読有り, 50 巻, 2014, 294-299
- ④ 中村 誠, 太田博光, 鴻上健一郎, 明田川雅子, 徳永憲洋, 前田俊道, ファジィ推論を用いたフグ類身欠きの熟練の品質評価モデル, 知能と情報, 査読有り, 26 巻, 2014, 781-792

[学会発表] (計 14 件)

- ① 中村 誠, 西方舟, 川口健太郎, 太田博光, 前田俊道, 鮮魚の熟練の品質評価に基づく鮮度推定モデル, 第 48 回日本人間工学会中国・四国支部大会講演論文集, 78-79(2015)
- ② 中村 誠, 石川智大, 西方舟, 太田博光, 前田俊道, ブリ属の鮮度推定支援モデル設計のための基礎的検討, 日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, 5-6(2015)
- ③ 中村 誠, 太田博光, 徳永憲洋, 鴻上健一郎, フグ類身欠きの肉眼鑑別モデルについて, 日本人間工学会第 56 回大会講演集, 166-167(2015)
- ④ 中村 誠, 太田博光, 西方舟, 明田川雅子, 前田俊道, 色彩による鮮魚の品質推定支援モデルについて, 平成 27 年度日本水産工学会学術講演会学術講演論文賞, 175-178(2015)
- ⑤ 中村 誠, 鮮魚の目利きの技の解析とモデル化, 日本知能情報ファジィ学会第 25 回ソフトサイエンスワークショップ, 下関

市立大学 (2015. 3. 11) 【招待講演】

- ⑥ 大岩根寿倫, 鴻上健一郎, 中村 誠, 徳永憲洋, 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, 17-18 (2015)
- ⑦ 宮田 典, 明田川雅子, 中村 誠, 太田博光, ファジィ推論を用いた鮮魚の品質推定支援モデルについて, 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, 45-46 (2015)
- ⑧ Kenichiro Kogami, Makoto Nakamura, Visual Verification of Dressed Puffer (*Migaki*) Based on Body Surface Color, Proc. of 2014 Joint International Symposium between National Fisheries University and Pukyong National University, 29-30 (2014)
- ⑨ Masako Aketagawa, Makoto Nakamura, Tsukasa Miyata, Quality Estimation Support Models of the Fresh Fish in the Distribution, Proc. of 2014 Joint International Symposium between National Fisheries University and Pukyong National University, 27-28 (2014)
- ⑩ 鴻上健一郎, 中村 誠, 太田博光, 徳永憲洋, 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, 112-113 (2014) 【平成 26 年度日本人間工学会中国・四国支部, 関西支部合同大会優秀論文賞】
- ⑪ 中村 誠, 鴻上健一郎, 太田博光, 明田川雅子, 徳永憲洋, 前田俊道, 天然トラフグ身欠きの熟練の品質評価モデルについて, 第 30 回ファジィシステムシンポジウム予稿集, 844-849 (2014)
- ⑫ 中村 誠, 鴻上健一郎, 太田博光, 徳永憲洋, ファジィ推論を用いたフグ肉の鑑別モデルに関する基礎的検討, 第 30 回ファジィシステムシンポジウム予稿集, 850-853 (2014)
- ⑬ 中村 誠, 鴻上健一郎, 明田川雅子, 太田博光, 徳永憲洋, 色彩によるフグ肉の鑑定について, 日本人間工学会第 55 回大会講演集, 418-419 (2014)
- ⑭ 中村 誠, 鴻上健一郎, 明田川雅子, 太田博光, 徳永憲洋, 鮮魚の流通における生産者支援モデル, 日本人間工学会第 55 回大会講演集, 420-421 (2014)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 誠, (NAKAMURA, Makoto)  
水産大学校・水産学研究科・教授  
研究者番号：40399639

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

太田博光 (OHTA, Hiromitsu)  
徳永憲洋 (TOKUNAGA, Kazuhiro)  
前田俊道 (MAEDA, Toshimichi)  
明田川雅子 (AKETAGAWA, Masako)  
鴻上健一郎 (KOGAMI, Kenichiro)  
酒井 一 (SAKAI, Hajime)  
竹中輝夫 (TAKENAKA, Teruo)