

下関のふく通信 No. 22

発行：下関のふく共同研究機関

その二十二 身欠きフグの色彩による魚種鑑別について －習熟したふぐ処理師の技からのヒント－

1. はじめに

フグ類は魚市場で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って身欠き処理が施され、フグ肉（身欠きフグ）として小売り店や飲食店等に流通します。フグは処理される前の状態では、外皮の模様が入り方や色、小棘の有無と分布、尾鰭の形状や色などによって比較的容易に魚種を鑑別することができます。しかし、一旦包丁を入れて身欠きにした後では「フグは身欠いた後は種類がわからない」状態となります。加えて、外皮が有毒種の場合には尾鰭が切除されて流通するので更に魚種鑑別が難しくなります。特に、一般消費者にとっては身欠きの外観から魚種を鑑別することは困難です。図1にヒガンフグとショウサイフグの身欠き処理前後の外観を示します。どうでしょうか？ 身欠きの状態から何フグかわかりますか？

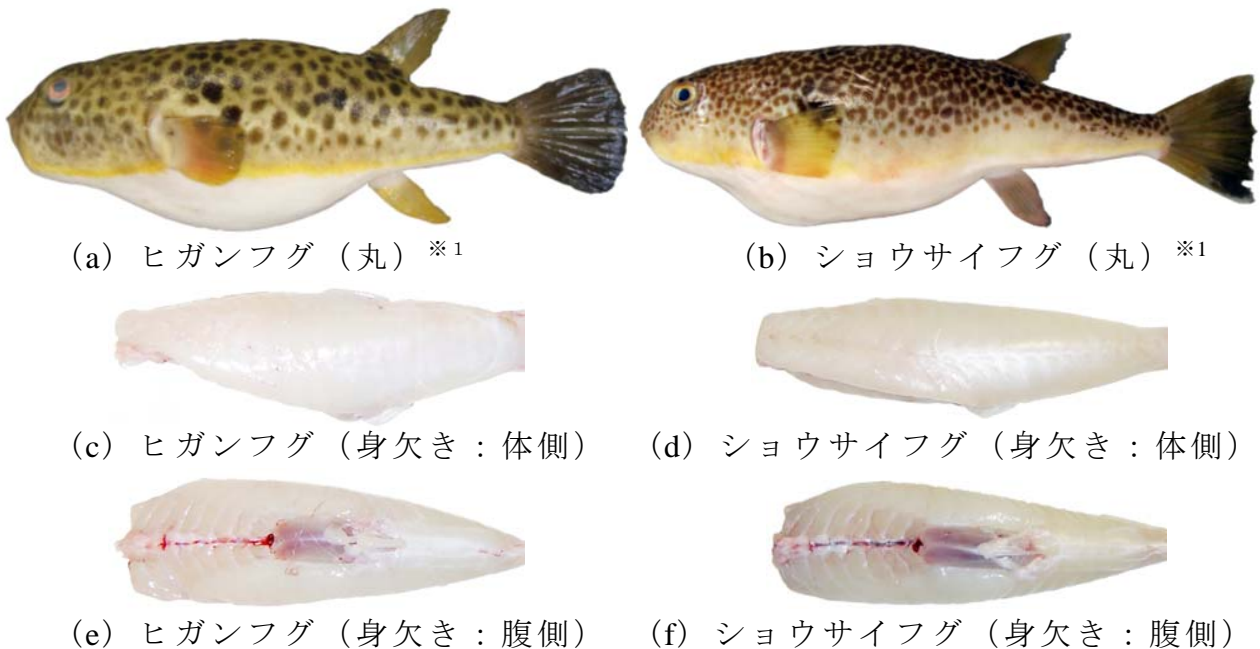


図1 ヒガンフグとショウサイフグの身欠き処理前後の外観

※1 提供：ぼうずコンニャク



写真 1 身欠きフグ（提供：酒井商店）

しかし、習熟したふぐ処理師は身欠きの外観（主に、色彩）から高い確度で魚種を鑑別し、さらに質の評価もしています。仮に、習熟したふぐ処理師の魚種鑑別に相当するシステムを作ることができたら、習熟したふぐ処理師の技を残すことができます。また、身欠きの流通においては魚種の誤認識による事故の防止や偽装の抑制なども期待することができます。加えて、魚種を特定したら、その身欠きの色彩を基に魚肉鮮度を推定できる可能性も高まり、身欠きの流通における品質管理にも大きく貢献できます。

そこで本稿では、身欠きフグの魚種鑑別に焦点を絞り、

- ① 身欠きの色彩は魚種により差異があるか？ あるとしたら魚種を肉眼鑑別できるポイントは何処か？
- ② 習熟したふぐ処理師の肉眼鑑別と同レベルで魚種鑑別のできるシステムを実現できる可能性があるか？

をテーマとして、下関市内の老舗ふぐ仲卸の協力を得ながら考えてみました。

2. 方法

[実験方法]

試料魚には下関で流通量の多いトラフグ（天然と養殖）、マフグ、カラス*¹、ヒガンフグ、ショウサイフグ、シマフグおよびシロサバフグの計 7 魚種を用いるものとししました。試料数はトラフグが 220 尾（天然と養殖を各 110 尾）、その他の魚種も各 110 尾ずつとししました。試料魚は市内の老舗ふぐ仲卸の(株)酒井商店のふぐ処理師に身欠き処理をしてもらいました。

身欠きの色彩の測定はふく通信 No.13 で報告した方法と同様です。魚体の色彩の測定点には図 2 に示すとおり背部 2 点、体幹部 3 点、腹部 2 点、腹腔 2 点および尾鰭 1 点の計 10 点を定めました。体側の測定点の名称は行 L と列 C の交点で、例えば体幹部中央では(L2-C2)と表わし、また腹腔の頭部寄りでは acL3-C1 と呼ぶものとしします。なお、色彩の測定には CIE1976L*a*b*表色系（図 2）を用いました。

色彩の測定時間は身欠きの流通実態を考慮して、試料入手後 1 時間経過時（身欠き処理後約 7 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 4 回とししました。また、その間の試料の保管温度も流通実態を考慮して、

-2℃, +2℃および+6℃の3段階を適用するものとししました。

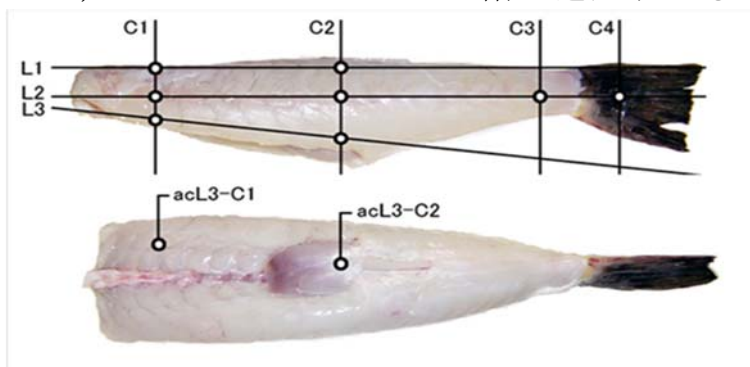
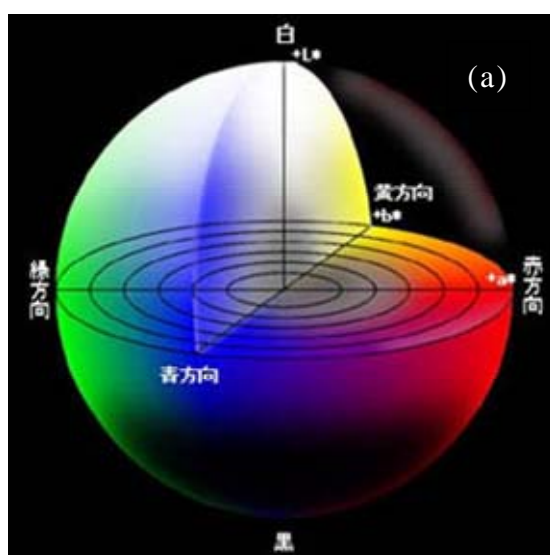
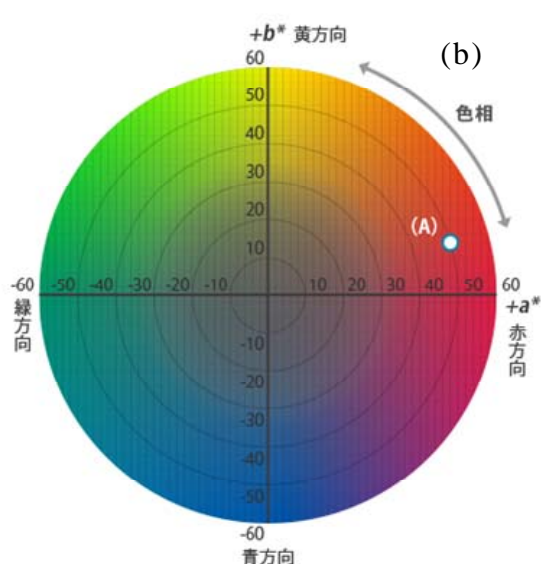


図2 色彩の測定点



(a) $L^*a^*b^*$ 色空間



(b) 明度 $L^*=50$ で切った断面図

図3 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 表色系 (出典: コニカミノルタ(株): 色を読む話, 再掲)
 L^* , a^* , b^* はそれぞれ明度, 赤緑方向の色度, および青黄色方向の色度を示す。

[解析方法]

まず, 2魚種間で各測定点の色彩を比較して魚種による色彩の違いの有無を確認します。例えば, 保管温度-2℃における24時間経過時のトラフグの体幹部頭部寄り (L2-C1) の色彩と保管温度+6℃における72時間経過時のマフグの体幹部頭部寄り (L2-C1) の色彩の違いの程度を数値化してその大きさを確認します。数値化の尺度には次の式で示す色差 ΔE^*_{ab} を使います。

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad [-]$$

ここで, L_1^* , a_1^* , b_1^* はそれぞれ保管温度-2℃における24時間経過時のトラフ

グの体幹部頭部寄り（L2-C1）の明度 L^* 、色度 a^* 、色度 b^* を表します。また L_2^* 、 a_2^* 、 b_2^* はそれぞれ保管温度+6°Cにおける72時間経過時のマフグの体幹部頭部寄りの明度 L^* 、色度 a^* 、色度 b^* を表します。よって、色差 ΔE^*_{ab} は図3(a)に示す $L^*a^*b^*$ 色空間内における2点間（二つの色彩間）の距離に相当するもので、この値が大きいほど色彩の違いが大きいことを表します。因みに色差 ΔE^*_{ab} の大きさが1.2では、並べて比較した場合にほとんどの人が容易に色彩の違いを認めることができるという目安になっており、習熟した人では色差 ΔE^*_{ab} の大きさが0.5でも色彩の違いを捉えることができるという報告もあります。2魚種間で一つの測定点における色差 ΔE^*_{ab} は(保管温度 $3 \times$ 経過時間 4)²で計144個を計算することになります。

次に、身欠きの色彩について保管温度と経過時間がどのように影響しているかを統計的手法により解析します。具体的には、基本統計量の算出、保管温度と身欠き処理後の経過時間を要因とする二元配置分散分析と多重比較を行います。この結果により、保管温度と経過時間に影響を受けない安定した色彩を抽出して、この色彩が他の魚種と有意な違いがあることを確認できたら、魚種鑑別に貢献できる色彩として見なすことができます。

[鑑別システムの構成方法]

一般に工場の製造工程などで原料をチェックする場合には、まず原料をさっとみて、違和感を受けた場合にはじっくりと観察する、という2段階の検査が行われています。身欠きフグの魚種鑑別も同様で、まず手元にある身欠きをさっとみて、違和感を受けた場合（例えば、流通時の魚種名とは異なる特徴を捉えた場合）にはじっくりと鑑別する、という簡易鑑別と精密鑑別に相当する2段階の鑑別で組み立てることができます。よって、習熟したふぐ処理師による魚種の肉眼鑑別と同レベルで鑑別できるシステムは、簡易鑑別をする「全魚種一括鑑別モデル」と精密鑑別をする「2魚種間鑑別モデル」を組み合わせるものとししました。

これらのモデルは判別分析法を用いて設計します。判別分析法とは、多変量解析の手法の一つで、標本などのデータをいくつかのグループに分けたり、すでに判明している既存のグループのどれに属するのかを特定したりする分析の方法です。本鑑別システムの場合、具体的には、まず7魚種の鑑別に貢献する色彩を組み合わせた全魚種一括鑑別モデルにより魚種の判別分析法を行い、検査対象とする身欠きフグの魚種を推定します。次に、全魚種一括鑑別モデルで推定した魚種が流通での魚種名と異なる場合には、2魚種間鑑別モデルにより判別分析法を行い、何れの魚種に近いかを特定する、という処理になります。

3. 結果の概要

[魚種の肉眼鑑別]

図4に試料とした計7魚種の身欠きフグについて、各2魚種の組み合わせにおける色差 ΔE^*_{ab} を求めた後、各測定点ごとの最小色差 ΔE^*_{ab} をまとめた結果を示します。まず、最初の課題であった「① 身欠きの色彩は魚種により差異があるか？ ありとしたりら魚種を肉眼鑑別ができるポイントは何処か？」についてですが、背部中央（L1-C2）と腹腔頭部寄り（acL3-C1）以外の測定点では総ての色差 ΔE^*_{ab} が1.2以上あります。このことから、これら7魚種の色彩には十分な差異があり、色彩に基づいて魚種が鑑別できる可能性が高いと言えます。魚種の肉眼鑑別に貢献する部位は、先ず尾鰭（L2-C4）であり、次に体幹部中央（L2-C2）、腹腔中央（acL3-C2）、頭部寄り（列C1上）の測定点、体幹部尾鰭寄り（L2-C3）と腹部中央（L3-C2）の順になります。背部中央（L1-C2）と腹腔頭部寄り（acL3-C1）の色彩の要素の一部も貢献する可能性を残します。よって、次の課題である「② 習熟したふぐ処理師の肉眼鑑別と同レベルで魚種鑑別をするシステムが実現できる可能性はあるか？」については、これらの部位の色彩を使って判別分析を行うことで高い確度を有するシステムを実現できる可能性はあると言えます。但し、先に述べたとおり、外皮が有毒種（マフグ、ヒガンフグ、ショウサイフグ）の身欠きは尾鰭が切除されて流通するため、尾鰭の色彩は鑑別モデルには使用できません。

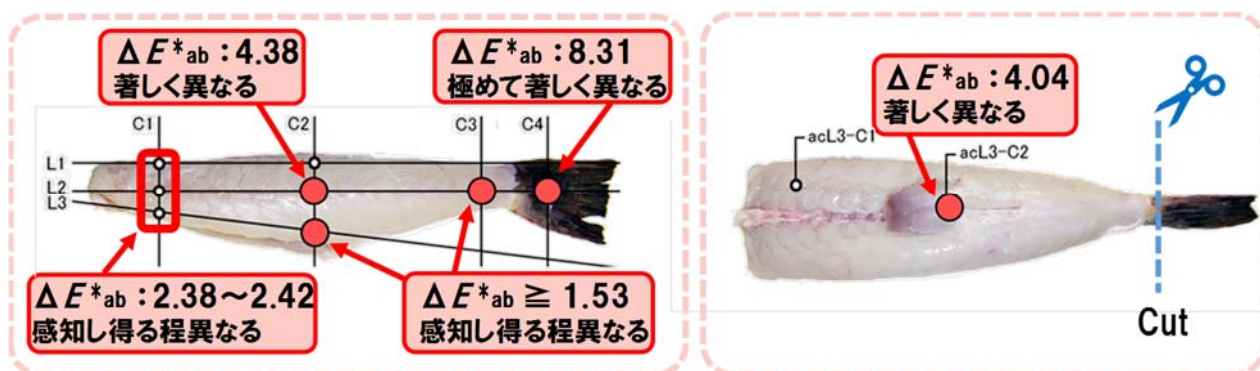


図4 身欠きフグの魚種鑑別に貢献する部位

[魚種の鑑別に用いる色彩]

表1に全魚種一括鑑別モデルと、表2にトラフグとマフグの2魚種間鑑別モデルで使用する色彩の組合せの候補を例示します。表に示すとおり、全魚種一括鑑別では計10個、またトラフグとマフグの2魚種間鑑別では計6個の色彩の組合せを使用します。試料に対してこれらの鑑別モデルを用いて2段階の判別分析を行った結果、魚種鑑別システムの判別率 HR （流通時の魚種名と鑑別

モデルの推定した魚種が一致した割合)は全体で93%以上となりました。魚種別の判別率 *HR* ではトラフグで95.7%, カラスで85.9%, マフグで91.6%, ヒガンフグで91.1%, ショウサイフグで94.6%, シマフグで97.3%, シロサバフグで97.3%でした。カラスの鑑別のエラーは主としてカラスを天然トラフグと誤判別したものでした。これは、トラフグとカラスではDNA鑑定でも魚種の違いが認められないほどに近い種であることに起因するものと考えています。まだまだ本鑑別モデルには改良の余地があるので、判別率 *HR* は向上して有用性が高まるものと見込んでいます。



表 1 全魚種一括鑑別モデルの色彩

測定点		色彩
背部	L1-C1	色度 a^*
	L1-C2	色度 a^*
体幹部	L2-C2	色度 a^*
腹部	L3-C2	色度 a^* , 色度 b^*
腹腔	acL3-C1	明度 L^*
	acL3-C2	明度 L^*
体幹部内	(L2-C2)-(L2-C2)	色度差 Δb^*
背部-腹部間	(L1-C1)-(L3-C1)	明度差 ΔL^*
体幹部-腹部間	(L2-C2)-(L3-C2)	明度差 ΔL^*

表 2 トラフグ-マフグ間の2魚種間モデルの色彩

測定点		色彩
背部	L1-C1	明度 L^* , 色度 b^*
体幹部	L2-C1	色度 b^*
腹部	L3-C2	色度 b^*
腹部内	(L3-C1)-(L3-C2)	色度差 Δa^*
腹腔内	(acL3-C1)-(acL3-C2)	彩度差 C^*_{ab}

[身欠きフグの目利きシステムの開発]

現在、研究コンソーシアムである「下関のフグ共同研究機関」では図5に示すような「身欠きフグの目利きシステム」の開発に取り組んでいます。このシステムはカメラを有する撮影専用装置、又は色彩計で身欠きフグの魚体表面の色彩を測定し、色彩データをBluetooth通信などでパソコンに取り込んで、先ず

本稿で紹介した魚種鑑別システムで魚種を特定します。魚種が特定できたら、魚種毎の魚体表面の色彩の分布の特徴に基づいて魚肉鮮度 K 値を推定します。また、本身欠きフグの目利きシステムは身欠きフグの色彩測定から 72 時間経過時迄の任意の時間における K 値の予測機能を有しています。本システムの鮮度推定モデルは既に完成して有用性の評価も終わっています。また、身欠きフグの目利きシステムは既に 1 号機は作成済みで、現在は小型化した 2 号機も完成間近な状況です。これらの結果については、後に発行するふく通信で順次ご紹介したいと思います。



図 5 身欠きフグの目利きシステム概要

4. むすび

本ふく通信では下関市の老舗ふぐ仲卸のふぐ処理師による身欠きフグの魚種鑑別にヒントを得て、身欠きの体表の色彩に基づいた魚種鑑別の是非について考察すると共に、習熟したふぐ処理師の肉眼鑑別と同レベルで身欠きの魚種鑑別をするシステムの実現の可能性を検討した結果を紹介しました。その内容は、対象とした計 7 魚種の身欠きでは体表の色彩に人が容易に確認できるほどの差異があり、色彩により魚種を鑑別することは十分な経験を積んだ場合に可能になること、また各魚種の特徴となる体表の色彩を組み合わせることでモデル化を図ることで習熟したふぐ処理師による魚種の肉眼鑑別に相当するレベルに近づけることができることを示唆しました。

下関でフグ食が解禁されて今年で 131 年目となります。その間、切磋琢磨して培ってきた魚市場やふぐ仲卸の皆さんの技能は貴重な財産と見なすことができます(文献[1, 2])。今後も下関のふく共同研究機関の皆さんと共に、身欠きの外観からフグの魚種等を鑑別し(文献[3])、同時に魚肉鮮度 K 値を推定する技術の確立(文献[4])やシステム開発を進めていきます。

本研究は革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)と JSPS 科研費(17K00359)の助成を受けて実施しました。

参考文献

- [1] 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：フアジイ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，Vol.26，No.4，pp.781-792（2014）
- [2] 中村 誠，太田博光，渡邊敏晃，徳永憲洋，川口健太郎，前田俊道：習熟した競り人による鮮魚の品質評価モデル，人間工学，Vol.53，No.4，pp.107-115（2017）
- [3] 中村 誠，川口健太郎，椎木友朗，高岡佑多，渡邊敏晃，太田博光：習熟したふぐ処理師によるフグ肉の肉眼鑑別モデル，人間工学，Vol.53，No.5，pp.147-156（2018）
- [4] 中村 誠，椎木友朗，渡邊敏晃，徳永憲洋，高岡佑多，前田俊道：身欠きフグの体表の色彩に基づく鮮度推定モデル，水産工学，印刷中
（水産大学校：中村 誠，椎木友朗）



写真2 フグ提灯（提供：酒井商店）



写真3 カラス（出典：長崎県水産部 HP「ゆめとびネット」）

〔※1 補足説明 カラスについて〕 体の背側が全体的に黒いため標準和名は「カラス」ですが，カラスフグやナメラフグとも呼ばれています。外見はトラフグに似ていますが，尻鰭の色が黒いことで識別することができます。高価な天然トラフグの代用として乱獲されたため，2014年11月に国際自然保護連合のレッドリストにおいて絶滅危惧 IA 類に指定されています。