

秋鮭の画像処理品質判定システムに関する研究

長谷川 辰雄^{*}、田中 慎造^{*}

秋鮭の品質等級の選別は岩手県が最も細分化されているが、その基準は必ずしも一定ではない。これは、明確な選別基準が無いことや、人手選別によるバラツキ、地域の目的に応じた合理的な選別など、様々な要因が考えられる。また、食品加工では、衛生面から人手による選別よりも、自動機械による選別が望まれている。このような背景から本研究では、画像処理による鮭の自動品質判定を行い、選別基準の一定化と衛生管理の向上を目的とする。品質判定の方法は、カラー画像センサによって、鮭の体表面に現れる赤色模様の面積を計算することで判定を行った。本実験は4種類の鮭の画像撮影を行い、一定の判定基準が設定可能であることについて述べる。

キーワード：鮭、等級選別、カラー画像

The Evaluation of Quality of Salmon Utilizing Image Processing

HASEGAWA Tatsuo and TANAKA Shinzou

As for the quality grade definition of the salmon, Iwate Prefecture is the most detailed, but the standard for grade selection isn't clearly stable. Various factors that are no standard, the dispersion by the person, and rational grade selection in local area can be thought. As for food processing hygienically, the automatic selection machine of the salmon is required than the hand works. This research did the automatic grade selection of the salmon by the image processing and aimed at the stabilization of the standard for selection and the improvement in hygienic management. The Grade selection was judged by the calculation the red area of the salmon of the color image sensor. The standard colors for the grade selection were decided in this experiment by using four kinds of salmon.

key words: salmon, grade selection, color image

1 緒 言

北海道および岩手県はサケ・マスの漁獲量が全国都道府県で第1位と第2位を占め、年間100万尾を超える水揚げを持つ市場が、北海道で約15か所・岩手県で約8か所存在する。秋鮭の盛漁期には1日当たりの水揚げ量が10万尾を超える市場も少なくない。市場におけるサケ・マスの選別工程は、イクラがとれる雌と雄の判別が最も重要であり、このほかに肉質に影響がある体の色調による品質選別と重量選別が求められる。しかし、盛漁期の選別作業は熟練者の手作業に頼るところが多く、選別の迅速化・正確化が求められている。また、食品加工では衛生管理（HACCP）の導入が不可欠になっているが、対応の遅れが目立つ状況にある。特に市場での選別・搬送は屋外での手作業が主であり、現状のままでは、海外を含む食品流通に対応できなくなることが懸念される。このため、HACCP対応の一環としても、人手を介さない自動選別システムに移行することが求められている。本研究では、品質判別の自動化を目的に、カラー画像処理による色抽出の実験を行い、一定の判定が可能であることを示した。一般的に鮭の品質選別は、主に成熟色として現れる体表面の色や模様が、時間経過と共に変化することを捉えて行われている。過去に白黒カメラを使用した実験例があるが、薄い黄色と白色の区別が困難である問題が報告¹⁾されている。本研究は、この問題を解決するため、カラーCCDカメラを利用し、より詳細な色の識別を試みた実験について報告する。

2 実験方法

2-1 選別システムの設計

選別システムの全体イメージを図1に示す。鮭はベルトコンベアで搬送され、雌雄選別、品質選別、重量選別、秤量の各機能で選別が行われる。本研究は品質選別の高速自動化を実現するため、移動する鮭をカラーカメラで撮影し、画像処理で選別する方法を提案した。

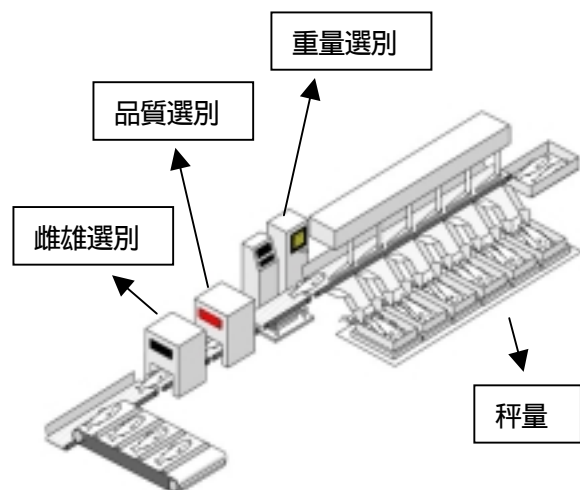


図1 選別システムの全体イメージ

^{*} 電子機械部（現在 電子機械技術部）

2-2 基準色の選択

人による現在の鮭の品質等級は、主に体表面に現れる成熟色（婚姻色とも呼ばれる）の割合や明度を基準に、最大で9等級の選別を行っている。各市場によって選別等級は異なるが、岩手県の選別規格の一例¹⁾を表1に示す。

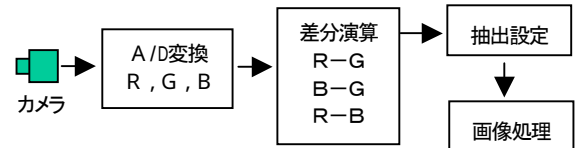
表1 岩手県の選別規格の一例

等級	名称	内容
1	銀毛	腹部に黒色が全くない
2	銀毛	腹部に一部黒色
3	銀毛	腹部全体に黒色
4	A ブナ	腹部に薄い赤色
5	B ブナ	腹部に赤色が広がる
6	C ブナ	黄色が混じり、濃い赤色
7	銀ブナ	黄色が広がり、濃い赤色
8	キズ	キズがある

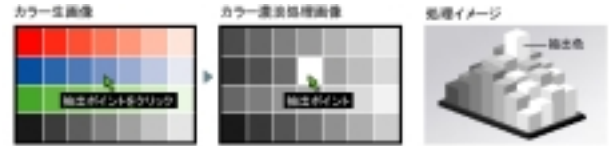
本研究は、現状の目視による成熟色の判定を、カラーカメラに置き換え、色の割合を抽出し、基準値と比較することで自動選別が可能であると考えた。一般的にカラーCCD画像は光の3原色である赤(R)、緑(G)、青(B)で表現される。RGB画像の問題は、処理するための情報量が、モノクロ画像の256階調に比べて、1677万階調(256³階調)と膨大となることである。また、画像処理結果を人の選別結果と同等にすることを考えると、人間の目で認識した色で判定処理を行わなければならない。一般的に人の目は、彩度を強く認識する傾向にあり、これを利用して色相、明度、彩度の組み合わせで色を表現する方法が用いられることが多い。また、実際の選別では、色以外に、鮮度や経験値などの情報も活用していると推測できる。これらの情報から具体的に選別方法を解明することは大切であるが、本研究ではシステム構築の容易性・高速性を重視し、画像のRGB値による色の抽出を試みた。選別基準となる色の抽出は、等級ごとに現れる特徴色を、あらかじめ人が選択する方法を採用した。これには画像ソフトウェアを使い、マウスによる色選択を行った。

2-3 画像センサ

過去の研究結果によると、白黒カメラでは6、7等級に現れる薄い黄色が白色と認識されるため、判定が困難と報告¹⁾されている。そこで、より細かい色合いを識別できるカメラを用いて実験を行った。カメラは(株)キーエンス社のご協力により、カラー画像センサCV750²⁾を用いた。この画像センサの機能構成とカラー濃淡画像処理のイメージを図2に示す。本装置は小型で、色の微妙な違いを認識できる特徴があり、RGBの値とその差分データR-G、G-B、R-Bを含めた6つのパラメータを利用し、ユーザが選択した色を最大値(255)と設定し、その色から遠ざかるにつれ0に近づくような濃淡画像変換を行う。この変換によって、微妙な色合いの認識が可能となる²⁾。



(a) 画像センサの機能構成



(b) カラー濃淡変換のイメージ

図2 画像センサの機能構成とカラー濃淡変換

カラー画像の濃淡変換は、図3に示すように離散的な画素値を曲線の方程式で近似することで行われ、1画素より細かい単位の解析を可能とする³⁾。

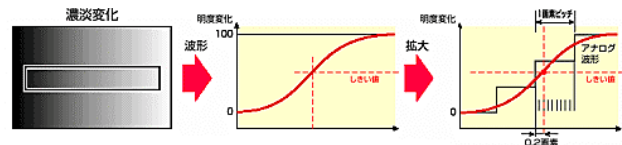


図3 サブピクセル処理

選択色のみを抽出するカラー2値化と異なり、色の微妙な違いを256階調の濃淡データに変換するため、従来の白黒濃淡値処理では判定しにくい色を識別できる。これはサブピクセル処理と呼ばれ、曲線の近似式は、ラグランジェ補間やスプライン補間、最小二乗法があるが、シンプルに実現したい場合はラグランジェ補間を用い、曲線をより滑らかに近似したい場合は3次スプライン補間を用いるなど、目的に応じて選択する必要がある。最もシンプルなラグランジェ補間は式(1)で表される。

$$P(x) = \sum_{i=k}^{k+m} N_i(x) y_i \quad \dots (1)$$

$$\text{ただし、} N_i(x) = \prod_{j=k}^{k+m} \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

2-4 画像マッチング

鮭の選別システムは、図1のイメージ図のようにベルトコンベアで鮭を搬送しながら動的に画像認識を行う必要がある。このとき、画像センサで捉える鮭の大きさや向き、位置は常に一定ではない。これらの情報を自動的に捉えることは、画像処理の高速化につながる。品質判定を1秒以内とする場合、画像全体を走査するより、範囲を限定して走査の方が高速に処理ができる。このように、ある目的の画像の位置を照合する場合、画像処理のテンプレートマッチング法が一般的に用いられる。これには、照合したい画像(テンプレート画像)と入力画像を直接照合して、2つの画像の相関値によって類似度を評価する正規化相関が代表的である。正規化相関法は、原画像と目標画像の正規化相関値が最も大きくなる点を求め

る方法⁴⁾で、残差マッチングに比べて膨大な演算時間を要するが、階層化による高速化によって実時間で処理が可能である。入力画像の濃度値 $f[i, j]$ 、テンプレート画像の濃度値を $s[i, j]$ 、両方の画像サイズを $M \times N$ としたとき、相関係数 R は式(2)で表される。

$$R = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (f[i, j] - \bar{f})(s[i, j] - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (f[i, j] - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (s[i, j] - \bar{s})^2}} \quad \dots$$

(2)

ここで、 $\bar{f}$ および $\bar{s}$ は平均明度である。

また、入力画像に比べて、テンプレート画像の大きさが小さい場合、テンプレート画像の濃度値を $t[k, l]$ 、画像サイズを $m \times n$ ($m < M, n < N$) とすると、相関係数 $R[i, j]$ は式(3)で表される。また、詳細な画像照合を行う場合、必要に応じて式(2)のような平均明度の差分を使った正規化を行う。

$$R[i, j] = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} f[i - \frac{m}{2} + k, j - \frac{n}{2} + l] \cdot t[k, l] \quad \dots \quad (3)$$

画像センサ CV750 は、多少のワークの色変化や周囲照明の変動が生じて、正規化相関法により安定した検出が可能である。また、赤色と黒色、金色と銀色など、モノクロでは濃淡の差がつきにくい対象に対しても有効に働く。

3 実験結果

3-1 基準色の解析

実験は(株)東興の協力により、4種類の鮭を用いて実験を行った。選別の基準となる RGB 値を決定するため、撮影した画像を PC (パソコン) に取り込み、画像処理プログラムで解析を行った。解析方法のフローチャートを図4に示す。

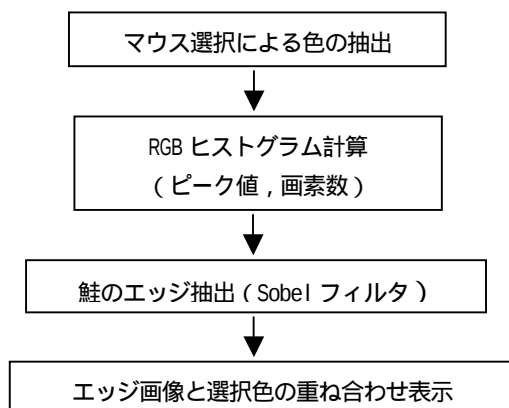


図4 基準色解析のフローチャート

はじめに、選別基準となる色をマウス選択によって決定した。B、C プナは赤系色を全て含むように選択し、銀毛、A プナは、体表面内の白色系を含むように選択した。背景が白色のため、体表面の白色を抽出するには、鮭が占める領域を特定する必要がある。このために、エッジ抽出に用いられる Sobel フィルタ処理⁵⁾を行った。次に選択した色領域について、RGB ヒストグラムを作成し、RGB の最大画素値や画素の総和(面積)を求めた。抽出した色の位置がわかるようにエッジ画像と重ね合わせて表示を行った。この実験結果を図5に示す。

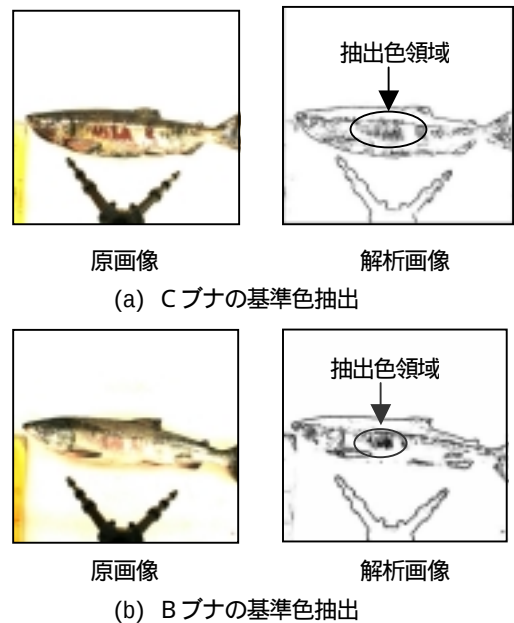


図5 プナ種類の基準色抽出結果

図6はB プナとC プナの抽出した基準色の RGB ヒストグラムの比較を示している。RGB のそれぞれの値に関して、画素値の分布が明確に異なっていることを示している。

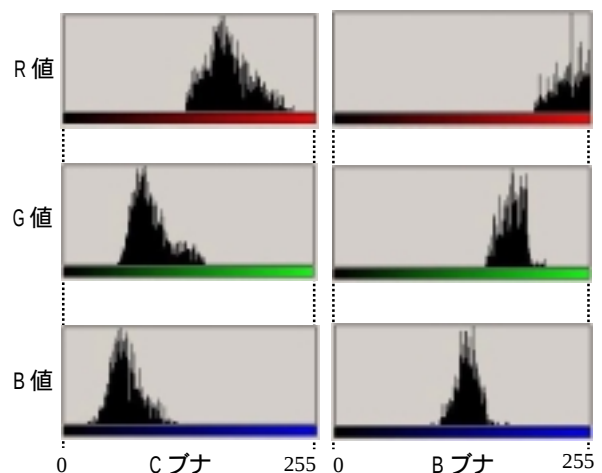


図6 B プナとC プナのRGBヒストグラム

このRGBヒストグラムを元に、各RGBの最大値と総画素数を表2に示す。この表から実験に使用した銀毛とAブナは、黒色と白色で占められ、色の差による区別が出来ないことが分かった。そのため、RGB値の差異による識別ではなく、体表面の白色の総画素数(面積)の差で識別できることが分かった。

表2 RGB最大値と総画素数

等級	種類	R最大値	G最大値	B最大値	総画素数
1	銀毛	255	255	255	16834
2	Aブナ	255	255	255	11488
3	Bブナ	237	178	138	831
4	Cブナ	159	80	58	1471

3-2 専用機によるカラー画像処理

4種類の鮭について、画像処理の専用機である(株)キーエンス社製のCV750と白色LEDリング照明を用いて成熟色の抽出を行った結果を図7に示す。

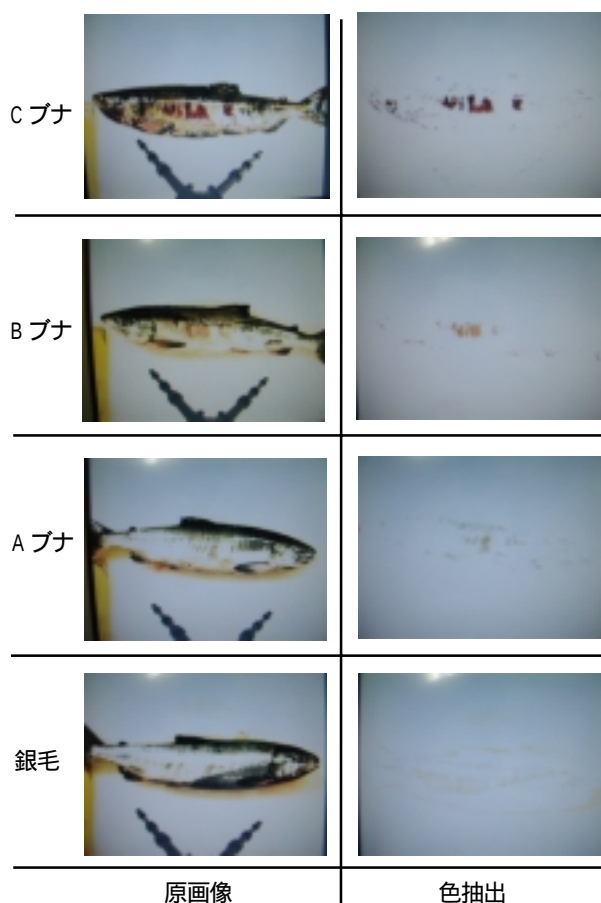


図7 鮭の成熟色の抽出結果

抽出色の選択は、人が画像を見ながらマウス選択により決定した。この結果から、A～Cのブナ種に現れる成熟色の濃度や面積の差異は明確であり、種類の区別が可能である。銀毛は、成熟色がほとんど現れないことや、腹部における白色の割合(面積率)で区別が可能であることが分かった。また、

この実験に要した処理時間と撮影条件を表3に示す。シャッタースピードは、ベルトコンベアの搬送速度に応じて設定する必要があるが、今回の実験は、色抽出を目的としたため静止状態で行った。このときのシャッタースピードは、撮影画像の明るさを調整するために用いた。位置補正は、鮭の大きさや向きを捉えるための機能であり、手によって鮭を移動させながらリアルタイムに位置を検出できることを確認した。

表3 色抽出速度と実験条件

種類	色抽出速度(ms)	シャッタースピード(s)	位置補正
銀毛	167	1/50	有り
Aブナ	138	1/50	有り
Bブナ	218	1/30	有り
Cブナ	182	1/30	有り

4 考察

今回の実験では、白色リング照明を用いたが、照明の角度や強さによって抽出結果が異なった。抽出結果を安定させるため、暗室などの環境が必要であることが分かった。また、実験は時間の都合上、鮭の片側のみで行っており、両側での色抽出の関連実験が必要と考える。また、4種類のサンプリング実験では、基準色や面積率、領域抽出パラメータなど、より詳細な等級区別のための条件が求められなかった。これに対しては、実験のサンプリング数を増やすことで、実用化に必要な各種のパラメータが決定できると考える。

5 結言

鮭の体表面に現れる成熟色をカラーカメラで捉え、その特徴から鮭の等級を区別することができた。特徴となる情報は、RGBヒストグラムから、それぞれのRGBの最大値及びその近傍が異なることで識別できた。RGBヒストグラムは、各RGBの色濃度とその数量を示しており、指定した色の定量化を可能としている。この定量化によって、等級ごとの基準色を決定することができた。また、色の抽出速度も1尾1秒以下と高速に処理が可能であるため、実用化の条件をクリアした。さらに実験サンプリング数を増やし、安定した照明などの撮影環境を整えることにより、高精度の等級判定が期待できる。

文献

- 1) 共同組合フロンティア釜石：秋鮭の画像処理品質判定と自動選別搬送システムの開発、融合化開発促進事業成果報告書(2000)
- 2) <http://www.keyence.co.jp/gazo/lineup/CV-700/cv700-01.html> ((株)キーエンス, CV-700 カメラ (2002))
- 3) <http://www.keyence.co.jp/gazo/tech/tech10.html>
- 4) 酒井幸市：デジタル画像処理入門、CQ出版(2002)
- 5) 安居院 猛、長尾 智晴：画像の処理と認識, pp.35-37、昭晃堂(2000)