

海産物の非破壊評価方法についての調査研究

報 告 書

平成30年3月31日

一般社団法人 日本海事検定協会 検定サービスセンター

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校 海洋機械工学科
講師 徳永憲洋

要 旨

水産物（海産物）に付加価値を与えるためには、水産物を評価する必要がある。例えば「脂の乗り」は鮮魚において重要な付加価値であり、脂の乗りの評価で鮮魚の価値が決まる。「脂の乗り」の付加価値は、豊後水道の関アジのような鮮魚のブランド化にもつながっている。しかし現在の水産物の評価は、目利き人による客観的評価が主流である。すなわち、農作物などで用いられる糖度や酸度といった「美味しさ」や「味」を表現する定量的な評価指標が水産物には見られない。さらに、水産物の「美味しさ」は、それぞれの水産物でも異なるうえに、消費者個人の官能的感覚にも起因する。そのため、特定の成分の評価だけでは、水産物の「美味しさ」を適切に評価できるとは言えない。多面的な成分分析と評価をもとに「美味しさ」を消費者に提示する必要があると考える。

そこで本事業では、水産物の成分を非破壊で定量的に測定・評価し、かつ水産物の官能的な表現である「美味しさ」を誰もがわかるように可視化し提示できる装置を開発することを目標とする。当装置は対象とする水産物に超音波を照射・走査し、得られる超音波信号をソフトコンピューティングで解析することで、水産物の断面をはじめ、脂肪や筋繊維の割合や美味しさに繋がる要素（弾性や脂質など）の量を推定する。

平成 28 年度の事業（海産物の非破壊評価方法に関する調査研究）における調査研究において、IB（Integrated Backscatter）値を用いることで、超音波信号から魚肉の脂肪量および歯ごたえを非破壊で推定できることが示唆された。

本年度の事業では以下の 2 点について調査・研究を行うことを目的とした。

- （1）超音波を用いた鮮度の推定
- （2）機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定

調査・研究の結果、超音波を用いることで鮮度も推定できることが示唆された。また機械学習を取り入れることで脂肪量と歯ごたえについて推定精度が向上した。これら一連の研究の結果、海産物の「美味しさ」を表す重要な要素である「脂肪量」「歯ごたえ」「鮮度」の 3 項目を、超音波の照射で同時かつ非破壊的に評価できることが示された。

目次

1. 本事業について.....	3
1.1 本報告書の適用範囲等.....	3
1.2 事業目的.....	3
2. 研究背景と目的.....	4
2.1 研究背景.....	4
2.2 研究目的.....	5
第1章 超音波を用いた鮮度の推定.....	6
1 背景と目的.....	6
2 材料と方法論.....	6
2.1 実験試料と使用した装置.....	6
2.2 魚体スキャン装置の構成.....	7
2.3 方法論.....	8
3 調査結果.....	12
4 考察.....	15
5 まとめ.....	15
第2章 機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定.....	16
1. 背景と目的.....	16
2. 本研究で使用する基本的な手法の説明.....	16
2.1 自己組織化マップ.....	16
2.2 Bag of Features.....	16
2.3 放射基底関数 (Radial Basis Function) ネットワーク.....	16
3 提案手法の説明.....	17
4. 実験.....	19
4.1 実験の枠組み.....	19
4.2 実験結果.....	19
4.3 考察.....	22
5. まとめ.....	22
総括.....	23
参考文献.....	23
海産物の非破壊評価方法についての調査研究委員会 委員一覧.....	23

1. 本事業について

1.1 本報告書の適用範囲等

本報告書は、一般社団法人日本海事検定協会（以下、日本海事検定協会）と国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校（以下、水産大学校）の共同研究である「海産物の非破壊評価方法に関する調査研究」（以下、本事業）の適用範囲に基づく研究成果を取りまとめたものである。本事業の実施場所は、水産大学校 海洋機械工学科 および 日本海事検定協会 検定サービスセンターである。

1.2 事業目的

水産物に品質や安全性，健康増進の付加価値の付与，さらに水産物の「おいしさ」を提示するために，主に海産物の非破壊評価方法に関する調査研究を水産大学校と日本海事検定協会が共同で実施し，その成果を報告書としてまとめ，公表するものである。

2. 研究背景と目的

2.1 研究背景

我が国の海産物の漁獲量は年々減少している。また漁業に従事する個人経営体の収入は改善が見られるものの依然として低く、漁船漁業を営む会社経営体では平均漁労所得は赤字が続いている。さらに漁業従事者の高齢化も進んでおり、深刻な社会問題になりつつある[1]。こうした状況の中で漁業関係者の中には海産物に付加価値を見出し消費者にアピールすることで経営の活路を見出すケースがあり、今後の漁業は如何に消費者に受け入れられるものを生産するかという点が重要になると思われる。

付加価値とは“朝獲れ”，“活き締め”，または“調理加工済み”といった手間をかけるものや，産地というブランド，または特定の成分に着目してクラス分けをする，または養殖場では特定の餌を与えることで肉質の改善を謳う[2, 3]，といったいくつかのタイプが見受けられる。

こうした付加価値に対する取り組みは漁業関係者の中でもまだ一部のみであり，漁業者の多くはこうした取り組みは計画している，または取り組んでいない状況にある[4]。しかし付加価値の中でも特定の成分に着目するタイプの場合，加工などの手間や地理的な条件などの制約を受けず実施しやすいと思われる。例えば脂の乗りを測定する機器はいくつか販売されており，現場ではブランド化に一役を買っている。

しかし脂の乗りを測定し評価することについても課題はあり，“脂の量が多い海産物が美味しいとは一概には言えない”ということから，より多面的な評価項目を設けた付加価値が提供されるべきであると思われる。つまり魚の評価を行ううえで最も重要だと思われるのがその海産物の本来の美味しさであり本質的な付加価値だと考えられる。さらに海産物でも例えば魚一匹ごとに適切に評価をしていくことができればブランド化や信頼（品質保証）を促進する有用な助けになると思われる。

2.2 研究目的

本事業は、水産物の成分を非破壊で定量的に測定・評価し、かつ水産物の官能的な表現である「美味しさ」を誰もがわかるように可視化し提示できる装置を開発することを目標とする。当装置は対象とする水産物に超音波を照射・走査し、得られる超音波信号をソフトコンピューティングで解析することで、水産物の断面をはじめ、脂肪や筋繊維の割合や美味しさに繋がる要素（弾性や脂質など）の量を推定する。言い換えると、超音波を用いて非破壊的に水産物の成分を定量的に測定・評価することが可能である。また成分分析の結果から水産物の「美味しさ」に関わる情報を画像化することを目指す。この装置の最大のメリットは水産物を解体することなく、その特性・特徴をモニタ画面上に表現させることにある。

本年度の事業では以下の2点について調査・研究を行うことを目的とした。

- (1) 超音波を用いた鮮度の推定
- (2) 機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定

本報告書は全二章から構成されている。第1章に超音波を用いた鮮度の推定に関する調査・研究について報告する。さらに第2章に機械学習を取り入れた超音波による脂肪量および歯ごたえの推定に関する調査・研究について報告する。

第 1 章 超音波を用いた鮮度の推定

1 背景と目的

平成 28 年度の事業（海産物の非破壊評価方法に関する調査研究）における調査研究において、IB（Integrated Backscatter）値を用いることで、超音波信号から魚肉の脂肪量および歯ごたえを非破壊で推定できることが示唆された。本年度は、同様の方法で海産物の鮮度を超音波信号から非破壊で推定できないかを調査・研究した。

2 材料と方法論

2.1 実験試料と使用した装置

【実験試料】

- ・ マアジ

下関沖で早朝に獲れたマアジ 15 匹を水産大学校に輸送し、実験で使用した。
漁港での試料調達、輸送は日本海事検定協会の谷口、中野が行った。

【装置】

- ・ 魚体スキャン装置

水産大学校海洋機械工学科 徳永研究室で作成したものを使用。
魚体スキャン装置の構成については後述する。

- ・ 鮮度測定器：QS-SOLUTION 社製 濾紙泳動型鮮度測定器

日本海事検定協会所有の機器

- ・ テクスチャ試験機：IMADA 社製 FRTS-50N

日本海事検定協会所有の機器

- ・ クールインキュベーター：AS ONE 社製 KMH-050 /1-423-01

日本海事検定協会所有の機器

2.2 魚体スキャン装置の構成

本研究では、魚体に対して超音波を照射・走査するための装置として、水産大学校海洋機械工学科の徳永研究室で作成された超音波魚体スキャン装置を利用した。図1に超音波魚体スキャン装置の外観を示す。

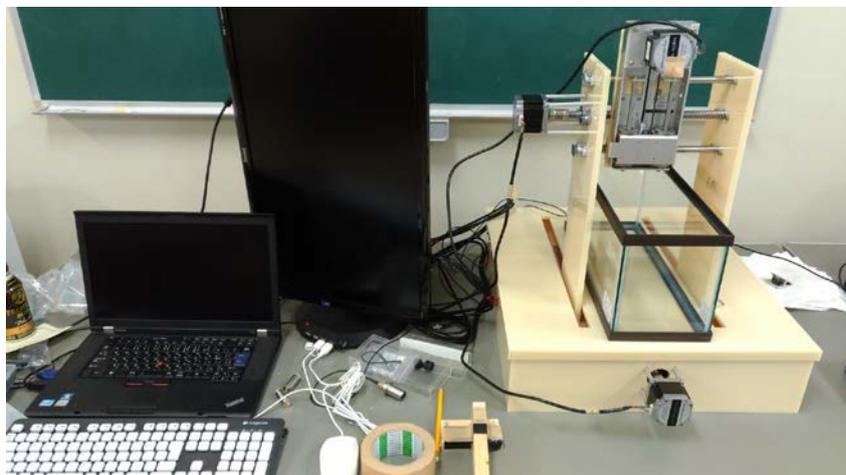


図1. 超音波魚体スキャン装置

図2に超音波魚体スキャン装置の構成を示す。超音波の発生は超音波探傷器であるDIO-1000J (Starmans 社製)を利用した。また探触子は二つの探触子を用い、それぞれ送信・受信側探触子とした。送信側の探触子は公称周波数 10MHz のものを利用した。受信側の探触子は公称周波数 5MHz のものを利用した (どちらも1探触子で送受信できるものである)。二つの探触子はXYZ ステージにおけるZ 軸ステージ上の冶具に横並びに取り付けられている。受信側の探触子から得られた超音波信号はオシロスコープ (UDS-1G02S-10k : 日本データシステム株式会社製) を介してパソコンに記録される。パソコンは超音波信号の記録と XYZ ステージの制御に利用する。

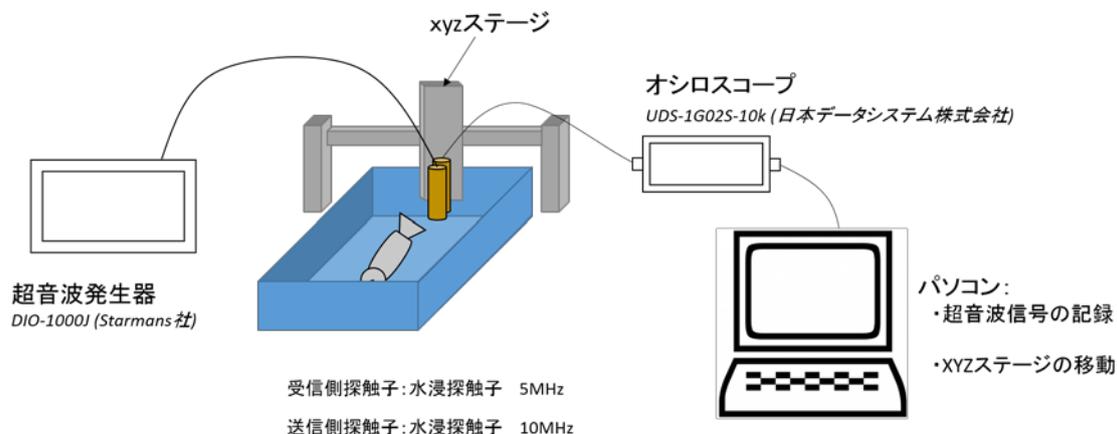


図2. 超音波魚体スキャン装置の構成

2.3 方法論

本研究では、超音波を魚体に照射し得られた超音波信号から鮮度を推定する方法として IB 値を利用した方法を取り入れる。IB 値で鮮度を推定できるかどうかを調査することが本研究の主眼となる。この節では本研究の調査の枠組みを説明する。

2.3.1 枠組み

本研究ではマアジ 15 匹を 3 グループに分け、1 グループ目を水揚げ日に測定、2 グループ目を水揚げから 24 時間後に測定、3 グループ目を水揚げから 48 時間後に測定することとした（図 3 を参照）。測定を行わない間は、庫内が 10℃に保たれたクールインキュベーターにマアジを入れて保存した。



図 3. 検体のグループ分けについて

測定では、各種魚体データの取得、超音波信号の取得、テクスチャの測定、鮮度の測定を行う。測定の手順は以下で行った。

- (1) 魚体の体長、体高、体幅、体重を測定する。
- (2) 魚体をスキャン装置に設置し、超音波信号データを取得する。
- (3) 魚体を三枚おろしにし、二枚のフィレのテクスチャ測定を行う。
- (4) テクスチャを測定した箇所からサンプルを採取し、鮮度測定を行う。

(1) 魚体の体長、体高、体幅、体重を測定する。

本測定において、体長は魚の口先から尾びれの先までを測定する。体高は背縁から腹縁までの垂直方向の距離において最も大きい部分を測定する。体幅は左右のヒレ部分の距離を測定する。体重はデジタルはかりで測定する。

これらの測定は日本海事検定協会の谷口、中野が行った。

(2) 魚体をスキャン装置に設置し、超音波信号データを取得する。

魚体をスキャン装置に設置し、超音波を照射しながらスキャンを行う。スキャン中は100msec 毎に超音波信号データがパソコンに記録される。

スキャンでは図 4 に示すように、魚体上の探触子をジグザグに動かしながら超音波を照射する。プローブの移動速度は 2.16 mm/sec である。このため、超音波信号データは約 0.22 mm 間隔で記録されることになる。照射する超音波はバースト波とし PRF は 200Hz、送信周波数は 20MHz とする。また取得されるデータのサンプリング周波数は 500MHz である。

(3) 魚体を三枚おろしにし、二枚のフィレのテクスチャ測定を行う。

魚体を三枚おろしにした後に、二枚のフィレの重量をデジタルはかりで測定する。その後、テクスチャ測定器にフィレを設置し、フィレのテクスチャを測定する。

フィレのテクスチャ測定では、二枚のフィレそれぞれに対して三ヶ所のテクスチャを測定する。測定箇所はエラ側からゼイゴまでを三等分した箇所とした。測定値の単位は N (ニュートン) である。

(4) テクスチャを測定した箇所からサンプルを採取し、鮮度測定を行う。

テクスチャを測定した箇所付近から魚肉のサンプル (1 cm 角) を 3 カ所分切り出し、鮮度測定を行った。鮮度は K 値 (単位は%) で表される。3 カ所の平均値を最終的な鮮度とする。鮮度測定器の扱いについては省略する。

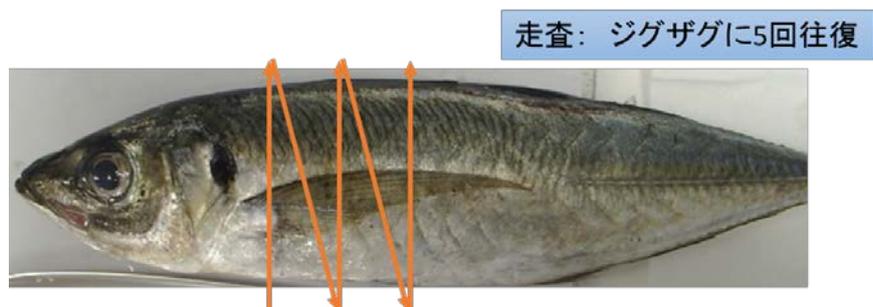


図 4. 超音波プローブの移動

2.3.2 超音波データから IB 値を取得する方法について

超音波データの解析は水産大学校の徳永研究室所有のパソコン上で行う。解析するソフトウェアは徳永研究室所有の Matlab (Mathwork 社製) を用いる。

解析の手順は以下のとおりである。

- (1) 超音波信号データから魚体部分の関心領域 (ROI) を切り出す。
- (2) ROI の信号の前処理
- (3) (2) の信号をもとに IB 値を求める。
- (4) IB 値を区分けし、区分けされた IB 値ごとに分布数を求める。
- (5) (4) で求めた分布数と脂質量、テクスチャとの相関を計算し、最も高い相関を出した IB 値の区間を割り出す。

- (1) 超音波信号データから魚体部分の関心領域 (ROI) を切り出す。

魚体をスキャンして得られた超音波信号データの B-mode イメージ (一例) を図 5 に示す。5 往復分の魚体の断面が映っている。この B-mode イメージを利用し、魚体の上側半分の領域を関心領域 (ROI: Region Of Interest) として指定する。ROI は信号を処理したい部位を囲んだ領域のことである。本研究では ROI は矩形領域とする。本研究での ROI の例を図 5 に示す。この ROI 内の超音波信号を解析に利用する。これにより 1 魚体の超音波スキャンデータから 5 領域の ROI が得られる。この切り出しは手動で行う。

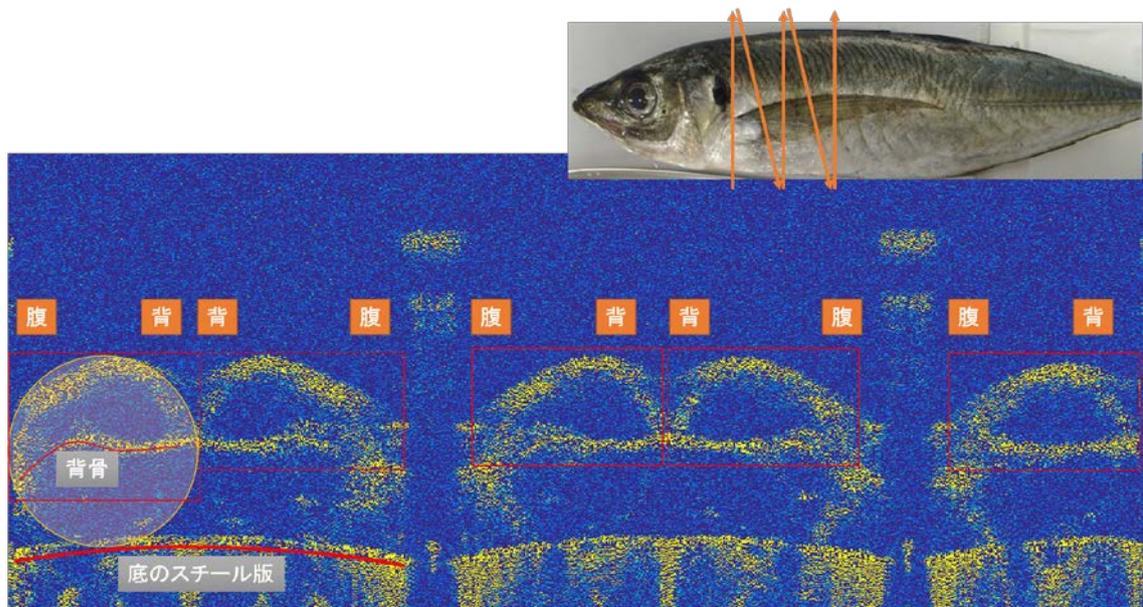


図 5. 魚体をスキャンして得られた超音波信号データの B-mode イメージ
赤の矩形枠は関心領域 (ROI) を示す。

(2) ROI の信号の前処理

信号の前処理として、信号に一階差処理を行う。信号処理では通常、ローパスフィルタをかけることで信号からノイズなどの不必要な信号成分を除去するが、ローパスフィルタをかけることで解析に重要となる信号成分が除去されることも考え、本研究では行わないこととした。階差をとった理由は、取得された超音波信号に加わっていたバイアス成分を除去するためである。

(3) (2) の信号をもとに IB 値を求める。

(2) の処理を施した後に、信号から IB 値 (Integrated Backscatter Value) を求める。IB 値とは超音波が構造物で反射する際の後方散乱波のエネルギーを表す値である。

IB 値の計算は様々な方法が提案されているが、本研究では次式で計算する。

$$IBV = 20 \log \left(\frac{\sum_i P(f_i)}{\sum_i P_b(f_i)} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

ここで、 $P(f_i)$ はフーリエ変換によって得られる周波数 f_i の周波数スペクトル強度を表す。

また $P_b(f_i)$ は基準信号から得られた周波数スペクトルを表す。基準信号では大抵の場合、スチール板に超音波を照射した際の反射信号を利用する。本研究でも同様にスチール板から得られた反射信号を利用する。式 1 は後方散乱信号の周波数スペクトルの面積の減衰率を求めている。組織によって減衰率が異なることを利用し性状特定を可能とする。

さらに IB 値を計算するに先立ち、ROI 内の信号に対して短時間フーリエ変換を施す。すなわち ROI 内の信号をさらに細かい領域に区分化し、区分化された領域ごとにフーリエ変換を施す。その後に、区分化された各領域で IB 値を求める。これにより深さ×横の大きさの IB 値の 2 次元行列データが得られる。

5 領域の ROI すべてに対して IB 値行列を求め、(4) からの行程に利用する。また全魚体サンプルにおいて IB 値行列を求める。

(4) IB 値を区分けし、区分けされた IB 値ごとに分布数を求める。

得られた IB 値行列において、どの値が脂肪量やテクスチャに関わっているかを調べる必要がある。そのため、本研究では IB 値をさらに細かく区分化し、その分布数（ヒストグラム）を求める。具体的には IB 値を-100 [dB]から 0 [dB]まで 3[dB]毎に区分けし、それぞれの IB 値における ROI 内の分布数（ヒストグラム）を求める。

そして、各 ROI で求められたヒストグラムを平均化したヒストグラムを (5) からの行程で利用する。

(5) (4) で求めた分布数と鮮度との相関を計算し、最も高い相関を出した IB 値の区間を割り出す。

(4) で求められたヒストグラムの各ビンの値と魚体サンプルの鮮度との相関を求め、最も相関の高い IB 値の範囲を特定する。併せて、テクスチャとの対応も求める。

3 調査結果

まず時間経過による鮮度の変化を図 6 に示す。図 6 では、各グループにおける K 値の平均値をプロットしている。プロットの色はグループを表している（色については図 3 を参照）。また各点における最大値と最小値をひげで表している。結果から 10°C の庫内で保存した場合、マアジは 24 時間で K 値は約 8~11%の上昇があることがわかった。

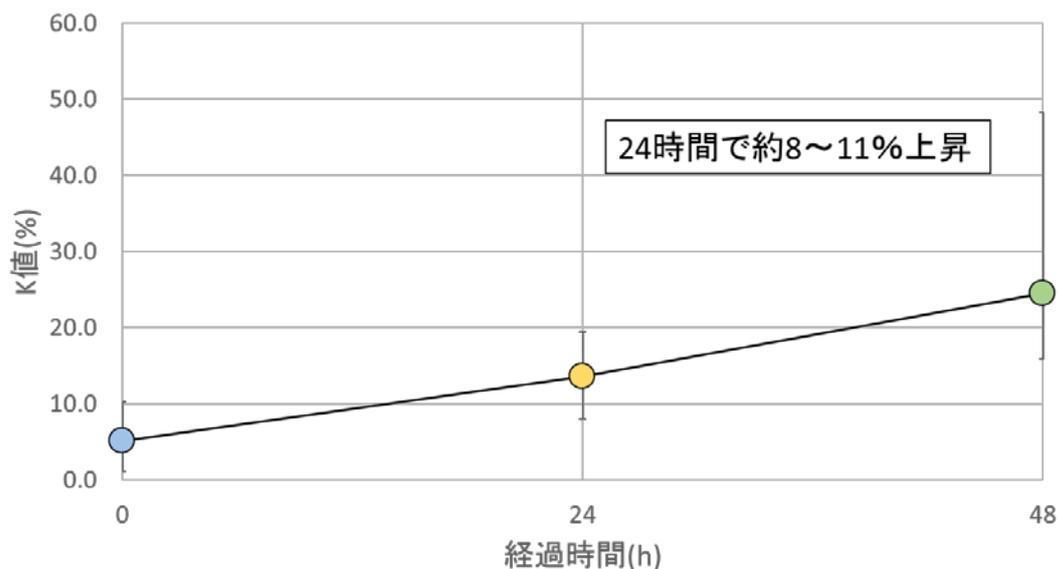


図 6. 時間経過による鮮度（K 値）の変化

次に時間経過によるテクスチャの変化を図 7 に示す。結果から 24 時間で約 0.2~0.3 (N) の低下が見られた。時間経過により筋肉質の細胞が分解され肉が柔らかくなっているためである。

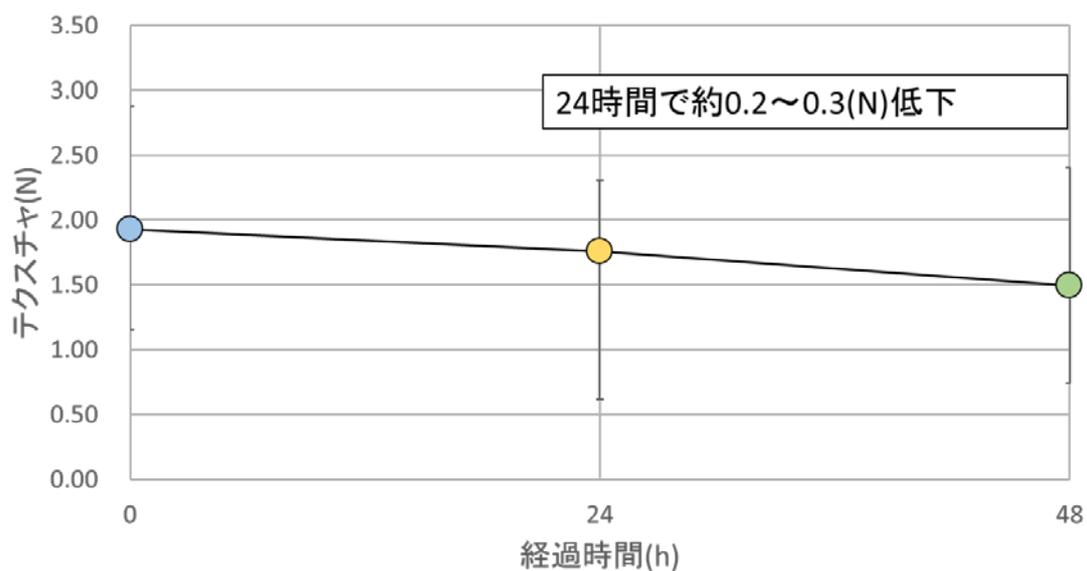


図 7. 時間経過によるテクスチャの変化

次に図 8 に IB 値と K 値間の相関について調べた結果を示す。結果から、約 - 92 (dB) 付近で大きな負の相関係数 (- 0.8) が得られた。すなわち IB 値が - 92 (dB) 付近の分布数を調べることで高い精度で鮮度を推定できる、ということが示唆された。参考として - 92 (dB) における分布数と K 値との関係 (線形回帰直線) を図 9 に示す。この結果から高い精度で鮮度を推定できる可能性が示唆された。

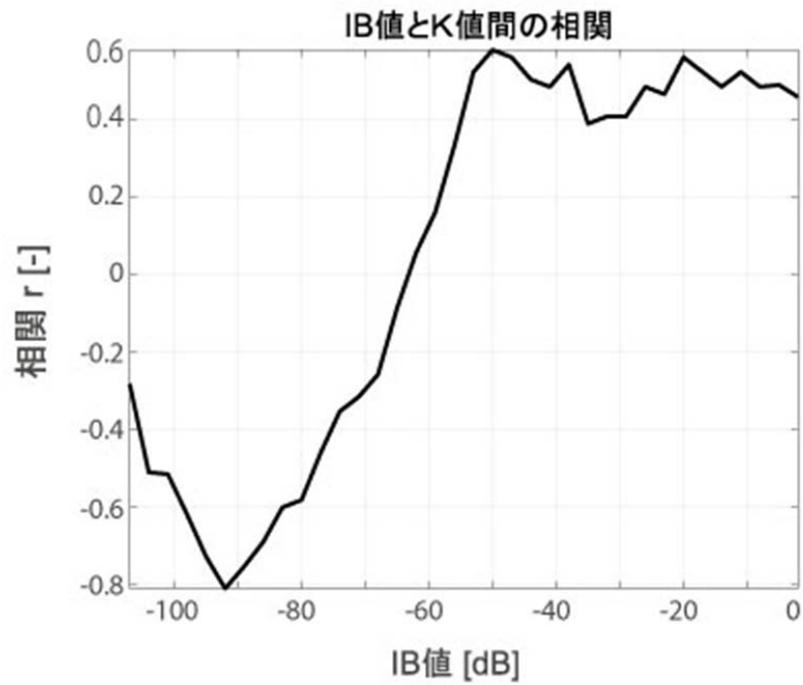


図 8. IB 値と K 値間の相関係数

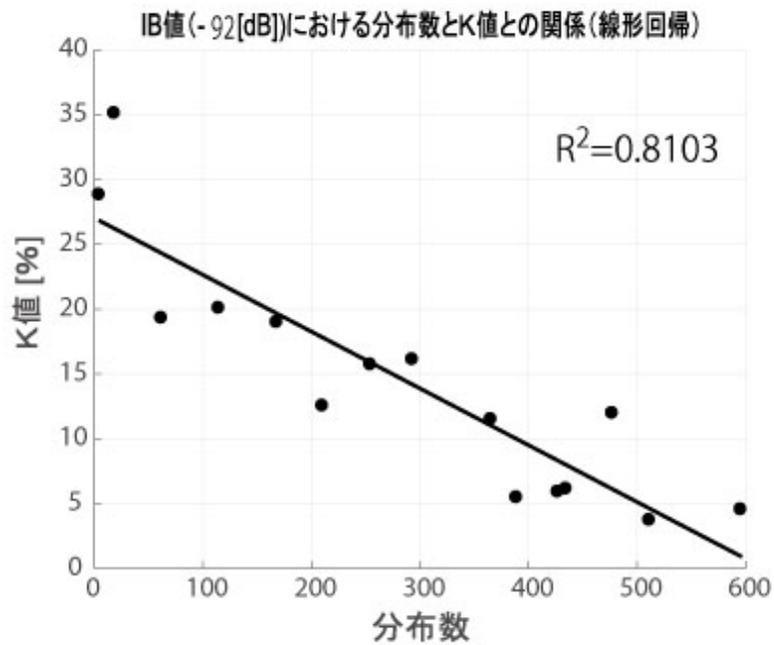


図 9. - 92 (dB) における分布数と K 値との関係

4 考察

本研究では IB 値と鮮度 (K 値) との関係を調査した。その結果、超音波信号から算出される IB 値 (-92 dB) の分布数を調べることで、高い精度で鮮度を推定できることが示唆できた。しかし、IB 値は後方散乱におけるエネルギーの減衰率を見ている。これは物質の硬さにも影響される値である。このことから、IB 値で見ているのは、実際は魚肉の硬さであり、鮮度ではない、ということも考えられる。図 6 と 7 を見ると、鮮度と魚肉の硬さ (テクスチャ) には高い相関があることがうかがえる。またテクスチャと IB 値との関係を調べた結果を図 10 に参考として示す。テクスチャにおいても -92 (dB) においても正の相関がみられる。このことから IB 値は鮮度というよりはテクスチャを見ていると考えられる。

しかし、時間経過による魚肉のテクスチャの変化のモデルおよび K 値の変化のモデルが用意してあれば、そのモデルを利用してテクスチャから鮮度も求めることができると考えられる。

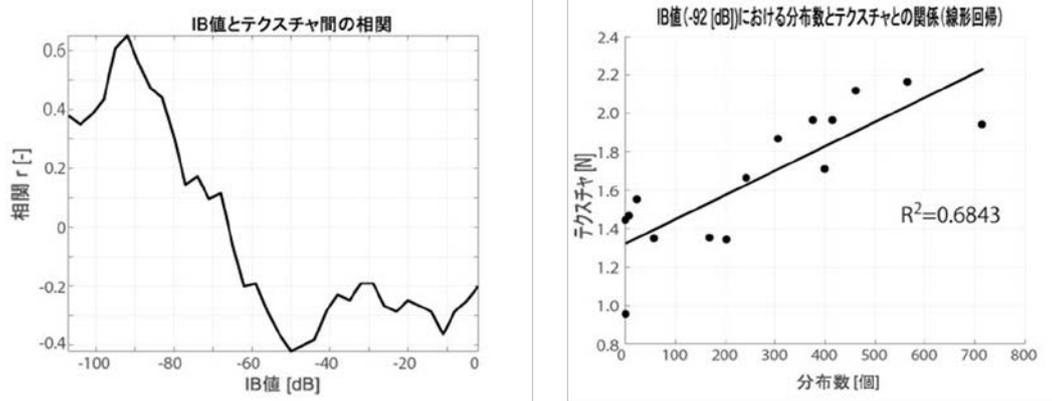


図 10. テクスチャと IB 値との関係を調べた結果

5 まとめ

本研究では IB 値と鮮度 (K 値) との関係を調査した。その結果、超音波信号から算出される IB 値 (-92 dB) の分布数を調べることで、高い精度で鮮度を推定できることが示唆された。但し、実際には鮮度というよりは魚肉の硬さを IB 値は見ていることが考えられる。また時間経過による魚肉のテクスチャの変化のモデルおよび K 値の変化のモデルが用意してあれば、そのモデルを利用してテクスチャから鮮度も求めることができると考えられ、今後、さらに調査をする必要がある。

第2章 機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定

1. 背景と目的

平成28年度の事業（海産物の非破壊評価方法に関する調査研究）における調査研究において、IB（Integrated Backscatter）値を用いることで、超音波信号から魚肉の脂肪量および歯ごたえを非破壊で推定できることが示唆された。しかしIB値を用いた方法では、脂肪量と歯ごたえの推定精度に問題があった。そこで本年度の研究では機械学習を取り入れた方法を提案し、脂肪量と歯ごたえの推定精度を向上させることを目的とした。

2. 本研究で使用する基本的な手法の説明

2.1 自己組織化マップ

自己組織化マップ（Self-Organizing Map: SOM, 以降 SOM と略す）は、T. Kohonen によって提案されたニューラルネットワークの一種であり、学習によって多次元データを1, 2次元程度のマップ空間にデータ間のトポロジーを保存しつつ写像することが可能である。この特徴から SOM はビッグデータの可視化やデータマイニング等に应用されている。

一方で、SOM は参照ベクトルユニットが格子状に配置されたネットワーク構造を持ち、各参照ベクトルユニットは多次元データの代表ベクトルを表現することになる。この特性から SOM はデータの量子化にも利用されている。本研究ではこの量子化の特性を利用している。

2.2 Bag of Features

Bag of Features は、文書内容の分類に利用されていた Bag of Words という方法を他分野で利用できる形に形を変えた方法である。Bag of Words では文章中の単語（Word）の出現頻度をヒストグラムとして表し、そのヒストグラムをベクトルデータとして表現したのちに、様々な分類手法によって文章全体の分類等を行う。同様に、画像や信号データ等においても特徴量を Word として扱い、ヒストグラムを作成し、分類手法などで分類、認識等に利用したものが Bag of Features（Bag of Keypoints と呼ばれる）である。

2.3 放射基底関数（Radial Basis Function）ネットワーク

放射基底関数（Radial Basis Function: RBF, 以降 RBF と略す。）ネットワークは三層の多層パーセプトロンに類似したニューラルネットワークといえる。RBF ネットワークは入力層、中間層、出力層の三層で構成され、中間層のユニットには放射基底関数を採用している。各層間は結合荷重で結ばれている。すなわち、多層パーセプトロンの中間層ユニットにおけるシグモイド関数が放射基底関数に置き換えられたものと考えられる。

RBF ネットワークは入力 \mathbf{x} に対する出力 \mathbf{y} を表現する関数 $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ を次式に従って表現する.

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K a_k \phi_k(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_k\|), \quad (1)$$

$$\phi_k(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_k\|) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_k\|^2}{2\sigma_k^2}\right). \quad (2)$$

ここで, K は放射基底関数 $\phi_k(\cdot)$ の数 (中間層ユニットの数), \mathbf{c}_k および σ_k は k 番目の放射基底関数の中心ベクトルと範囲である. また a_k は $\phi_k(\cdot)$ に接続する結合荷重を表す.

本研究では放射基底関数の数 K を入力ベクトルの数 N と同じにし, 中心ベクトル \mathbf{c}_k を入力ベクトルと同じとした. すなわち, 入力ベクトル上に放射基底関数を作成する RBF ネットワークとした. また σ_k はすべて 1.0 とした.

RBF ネットワークの結合荷重 a_k の学習については, 線形最小二乗法により求めている.

3 提案手法の説明

3.1 提案手法の概要

以下に提案手法の処理の流れを示す. また提案手法の処理の概念図を図 11 に示す.

- (1) 超音波スキャン信号の記録
- (2) 信号の前処理
- (3) キーとなる周波数スペクトルベクトルを SOM で作成
- (4) SOM で生成されたキーベクトルをもとにヒストグラムの作成
- (5) RBF ネットワークの学習および脂肪量と歯ごたえの推定

3.1.1 超音波スキャン信号の記録

魚体スキャン装置にサンプルを設置し, 超音波を照射しながらスキャンを行う. これにより魚体からスキャン信号が得られる. 詳細は第 1 章 2.3.1 (2) に書かれているものと同じである. ただし送信周波数は 400kHz としている. 理由は, IB 値による脂肪量と歯ごたえの推定において, 何パターンかの送信周波数で脂肪量と歯ごたえの推定を行ったところ, 400kHz 程度の低い送信周波数でも推定の精度が変わらないことが分かった. そのため低い送信周波数を利用している.

3.1.2 信号の前処理

信号の前処理は, 低域通過フィルタ (Low Pass Filter: LPF), プリエンファシス, 関心領域 (Region Of Interest: ROI) の抽出, 短時間高速フーリエ変換 (Fast Fourier Translation: FFT), 周波数スペクトルベクトルの標準化, の 5 つの処理を順番に信号に施している.

3.1.3 キーとなる周波数スペクトルベクトルを SOM で作成

上記の前処理で生成した正規化された周波数スペクトルベクトルを SOM に与えて学習させる。SOM は 100 個の参照ベクトルユニットで構成されている。これにより、100 個のキーとなる周波数スペクトルベクトルが生成される。

3.1.4 SOM で生成されたキーベクトルをもとにヒストグラムの作成

SOM で生成されたキーベクトルを辞書として、1 サンプルにおいて得られた全周波数スペクトルベクトルを照合し、ヒストグラムを生成する。照合はユークリッド距離を基準とする。

3.1.5 RBF ネットワークの学習および脂肪量と歯ごたえの推定

本処理には学習モードと推定モードがある。学習モードでは上記で生成されたヒストグラムベクトルを入力ベクトルとし、それに対応する脂肪量および歯ごたえを教師信号として RBF ネットワークを学習させる。推定モードでは新たなサンプルに対するヒストグラムベクトルを入力させ、脂肪量と歯ごたえを推定する。

Processing flow of proposed method

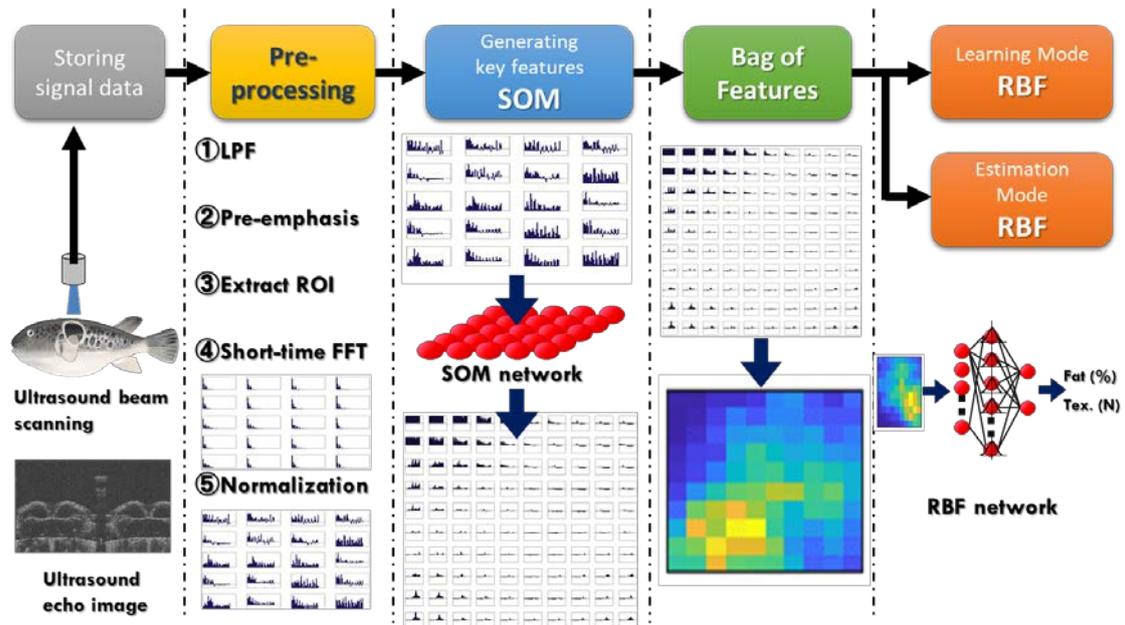


図 11. 提案手法の処理の流れを示した概念図

4. 実験

4.1 実験の枠組み

以下に実験の枠組みを示す。

- (1) 36匹のマアジをサンプルとして使用する。マアジは西日本を拠点とする3漁港で、2017年7月、8月に水揚げされたものである。
- (2) 測定に関しては第1章の測定方法と同じである。脂肪量の測定は公益財団法人北九州生活科学センターに依頼した。
- (3) 提案手法の有効性の検証は交差検証で行った。

4.2 実験結果

図12に提案手法による推定脂肪量と測定値との散布図を示す。横軸が推定値、縦軸が測定値である。推定値と測定値が同値であれば図中の点線上にプロットされる。この結果を見ると、点線回りでばらついているものの、残差は小さく推定精度は高いと考えられる。推定値と測定値の相関係数は0.89 ($p < 0.05$)である。また $R^2 = 0.80$ であり、残差も小さいことがうかがえる。参考として図13にIB値法での脂肪量推定の結果を示す。IB値法では相関係数が0.75, $R^2 = 0.56$ ($p < 0.05$)であり、相関係数は高いものの残差は高く、推定精度が低い。以上のことから、本提案手法は高い精度で脂肪量を推定できるということが示唆される。

一方、図14に提案手法による歯ごたえの推定値と測定値との散布図を示す。歯ごたえにおいてはバラツキが大きくなった。相関係数は0.61, $R^2 = 0.38$ ($p < 0.05$)であり、脂肪量ほど高い精度で推定ができていない。参考として図15にIB値法での結果を示す。相関係数は0.45, $R^2 = 0.21$ ($p < 0.05$)であり、IB値法では歯ごたえを推定できていないとはいえない。このことから提案手法での歯ごたえの推定はIB値法よりは高いが、脂肪量ほど高い推定はできなかった。

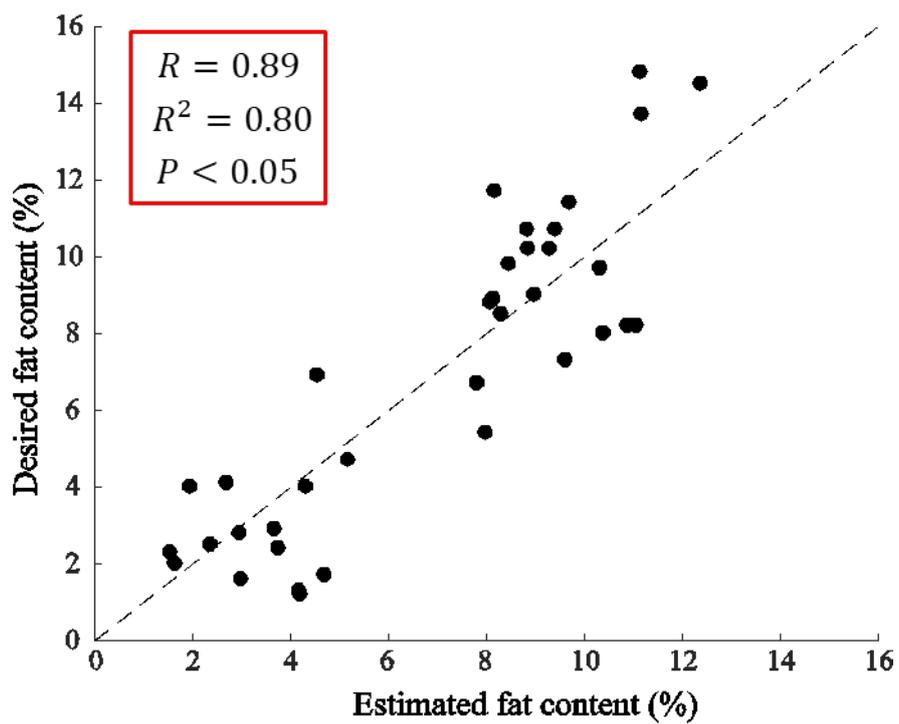


図 12. 提案手法による脂肪量の推定値と測定値との散布図

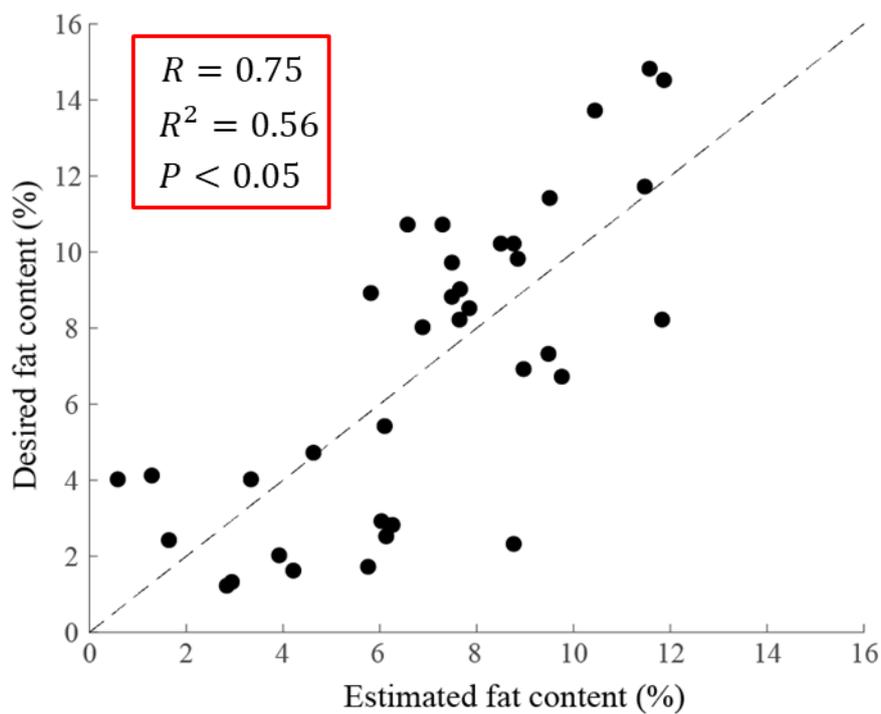


図 13. IB 値法による脂肪量の推定値と測定値との散布図

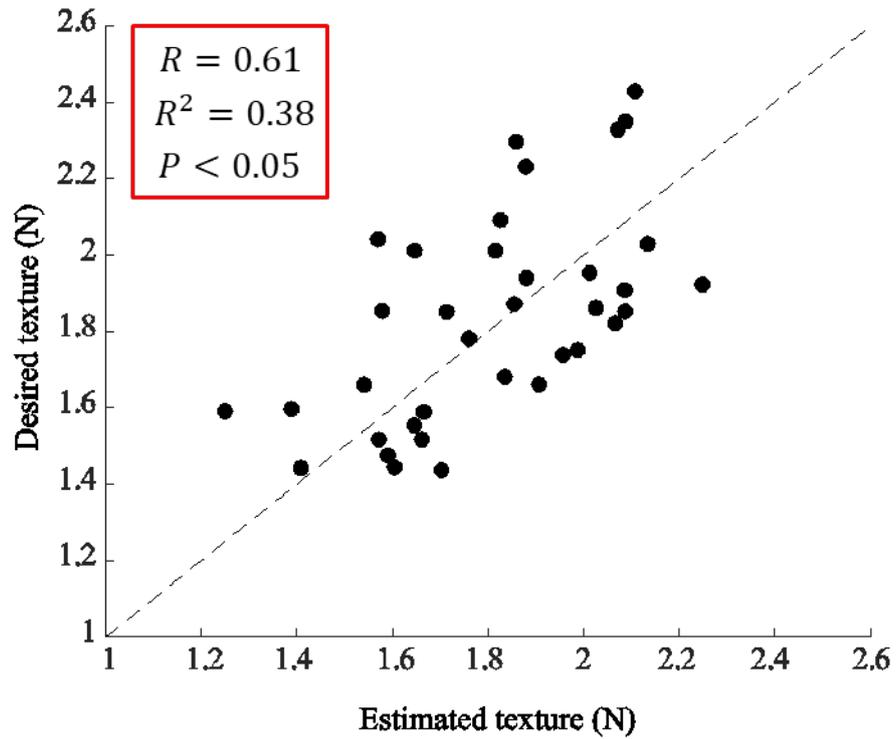


図 14. 提案手法による歯ごたえの推定値と測定値との散布図

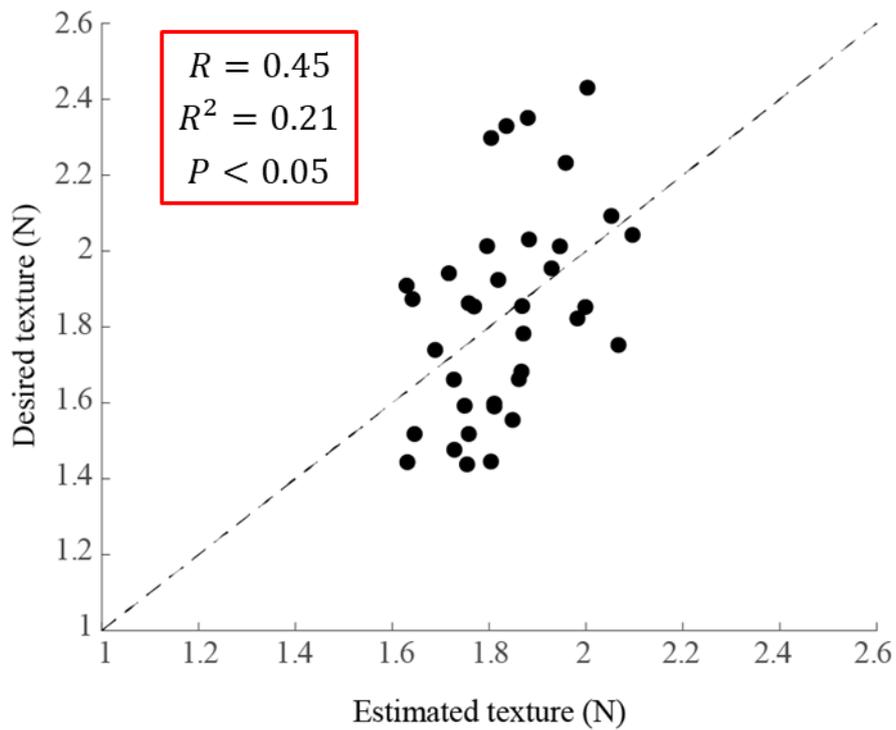


図 15. IB 値法による歯ごたえの推定値と測定値との散布図

4.3 考察

提案手法は脂肪量、歯ごたえ、ともに IB 値法よりも推定精度が高いことがわかった。しかし、歯ごたえについてはそこまで推定精度が高くない。理由としては歯ごたえを推定するために適した信号の前処理が必要なのではないかと考える。本実験では先に脂肪量推定に関してプログラム開発を行った。その際に前処理の調整（例えば低域通過フィルタのカットオフ周波数の設定など）も脂肪量推定値を基準として行った。ゆえに脂肪量の推定値は高く、歯ごたえの推定値が低い結果となったと考える。また SOM の参照ベクトルユニットの数の調整も今後考慮する必要があると考える。

5. まとめ

本研究では機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定方法の提案とその有効性を調べた。その結果、提案手法は IB 値を用いた方法よりも高い精度で推定が可能であった。このことから提案手法の有効性が示されたといえる。

今後の検討課題としては、前処理などにおけるパラメータの調整や他魚種に関しても同様の方法で推定が可能かを調査することである。

総括

本事業は水産物の成分を非破壊で定量的に測定・評価し、かつ水産物の官能的な表現である「美味しさ」を誰もがわかるように可視化し提示できる装置の開発を目標とし、本年度の事業では以下の2点について調査・研究を行うことを目的とした。

(1) 超音波を用いた鮮度の推定

(2) 機械学習を取り入れた脂肪量および歯ごたえの推定

一連の研究の結果、まず超音波を使って海産物の非破壊的な評価が可能であることが示せたと考える。海産物の「美味しさ」を表す重要な要素である「脂肪量」「歯ごたえ」「鮮度」の3項目を、超音波の照射で同時かつ非破壊的に評価できることが示せた。非破壊的な評価方法としては電気抵抗を利用したものや赤外線を利用したものが提案されているが、超音波を利用することで様々な項目を評価できることが示唆できた意義は大きいと考える。さらに水中で泳いでいる魚にも超音波は利用できる。養殖生簀で泳いでいる魚を直接評価できれば、育成の度合いや育成の計画も立てやすくなる。

今後の方針としては、前処理などのパラメータの調整等を行い歯ごたえについても高い精度で推定できるかを調査すること、鮮度についても機械学習を用いた方法で推定できるかを調査すること、他魚種についても同手法で推定が可能かを調査すること、を検討している。

参考文献

- [1] 水産白書 第2節 我が国の水産業をめぐる動き
- [2] 平成22年度水産白書/(1)水産物の消費動向, 水産庁 (2012)
- [3] 山中 英明, 魚介類のブランド化とトレーサビリティ, 日本調理科学会誌, vol.39, no.2, pp.108-114 (2006)
- [4] 農林水産統計 (2018/03/21)

海産物の非破壊評価方法についての調査研究委員会 委員一覧

	氏名	所 属
委員長	夏井光一	(一社) 日本海事検定協会 検定サービスセンター
	赤羽建紀	同上
	杉生将規	同上
	金子幸央	同上
	谷口真市	同 名古屋第二事業所
	中野新太	同上
	徳永憲洋	国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校 海洋機械工学科 講師