

技術報告

# 紀伊水道で漁獲された浮魚類における 生体電気インピーダンスと脂質含量との関係

武田崇史\*1・岡部修一\*2・安江尚孝\*1

## Relationship between bioelectrical impedance and lipid content of pelagic fish species caught in the Kii Channel

Takashi TAKEDA, Syuuichi OKABE and Naotaka YASUE

The purpose of this study is to examine the relationships between lipid content and the bioelectrical impedance (2, 5, 20, 50 and 100 kHz) measured using a Fish Analyzer (Yamato Scale Co., Ltd.) for horse mackerel *Trachurus japonicus*, Japanese scad *Decapterus maruadsi*, chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* caught in the Kii Channel. For the four species collected during June 2017 to December 2019, the relationships between the impedance measured at the dorsal muscle and the lipid content of the whole body were examined using multiple regression analysis. The impedance at 20 and 100 kHz was selected as an explanatory variable in horse mackerel ( $r = 0.766$ ), at 5 and 100 kHz in chub mackerel ( $r = 0.923$ ), and 20 and 100 kHz in spotted mackerel ( $r = 0.765$ ). However, the lipid content was not explained by bioelectrical impedance in Japanese scad. These results indicate that the accuracy of estimating the lipid content of the whole body, using bioelectrical impedance measured at one place of the body, depends on the fish morphology and/or species.

キーワード：インピーダンス, マアジ, マサバ, 肥満度  
2020年4月20日受付 2020年10月30日受理

紀伊水道（紀伊水道外域を含む）において、マアジ *Trachurus japonicus*、マルアジ *Decapterus maruadsi*、マサバ *Scomber japonicus*、ゴマサバ *Scomber australasicus* は主要な浮魚資源で、まき網、定置網および釣り漁業などによって漁獲されている。いずれの魚種も漁獲量が長期的に減少傾向であることから、漁獲物の付加価値を高め、魚価を向上させることが漁業経営にとって必要である。付加価値を生み出す要因として、魚肉の脂質含量、食感および鮮度などがあげられる (Tokunaga *et al.* 2020)。特に、脂質含量は市場において魚価を決定する重要な要因であるが (道根 2009, Shimose *et al.* 2018)、

漁獲時期、漁獲場所、魚体の大きさなどによって変動する (佃 1980)。漁業者や漁業協同組合（以下、漁協）職員などが出荷前に脂質含量を知ることができれば、高い脂質含量の個体を選別するなど、付加価値を高める取り組みを進めることが可能となる。

漁業現場で迅速かつ簡便に魚体の脂質含量を推定できる機器として、生体電気インピーダンスを測定する Fish Analyzer (DFA100型、大和製衡株式会社製) が2015年に販売された。この機器は、電極を魚体表面に接触させることによって2, 5, 20, 50および100kHzでのインピーダンスを測定する。対象とする魚種において、インピー

\*1 和歌山県水産試験場

〒649-3503 和歌山県東牟婁郡串本町串本1557-20

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station, Kushimoto 1557-20, Kushimoto, Higashimuro, Wakayama 649-3503, Japan  
takeda\_t0009@pref.wakayama.lg.jp

\*2 大和製衡株式会社

ダンスと脂質含量との関係を明らかにし、その関係式を機器に登録することで、脂質含量を推定することが可能となる。Fish Analyzerは魚体を非破壊で測定でき、操作は容易で、かつ比較的安価であるため、漁業者や漁協職員などが漁業現場で利用しやすいと考えられる。

Fish Analyzerによりインピーダンスから脂質含量を推定する場合、両者の関係が重要である。インピーダンスと脂質含量との間には、養殖クロマグロ（久保ら2014）、養殖ブリ、長崎県沿岸で漁獲されたマアジ（久保ら2016）、銚子漁港で水揚げされたキンメダイ（吉満ら2017a）およびマサバ（吉満ら2017b）で正の相関があることが報告されている。このように、Fish Analyzerによるインピーダンスと脂質含量との関係についてはいくつかの魚種で報告があるものの、その数は限られている。また、対象となる漁獲物の大きさや形態は、海域によって異なる可能性があるため、各魚種について海域ごとにインピーダンスと脂質含量との関係を調べる必要がある。

水産資源学において、体長と体重を用いて計算される肥満度は魚体の栄養状態の指標であり、餌環境や性成熟と関係していると考えられてきた（上原・清水1999、大富2006）。脂質含量は栄養状態を表す一つの指標になりうると考えられる。Fish Analyzerによるインピーダンス測定で高精度に脂質含量を推定できれば、肥満度とは別の栄養状態の指標として、脂質含量を活用できると考えられる。

本研究では、紀伊水道に分布するマアジ、マルアジ、マサバ、ゴマサバについて、Fish Analyzerで測定したインピーダンスと魚体の脂質含量との関係を調べた。加えて、肥満度と脂質含量との関係を調べ、脂質含量を知ろううえで、インピーダンスと肥満度をどのように用いれば良いかについても考察した。

## 材料と方法

**サンプル処理** 標本魚は2017年6月15日から2019年12月12日に、紀伊水道（外域を含む）で操業するまき網、定置網、釣りおよびひき網の漁獲物から採集した（表1）。将来的な漁業現場での利用を想定し、紀伊水道周辺で行われている様々な漁法による漁獲物を用いた。インピーダンスは魚体温度によって変化するので（Yuan *et al.* 2019）、魚体温度のばらつきを抑えるため、標本魚は海水水中で3時間以上保存し、その後インピーダンスの測定を行った。また、インピーダンスは細胞膜の劣化によって変化するため（加藤ら2000）、本研究では死亡からインピーダンスの測定までの時間が24時間以内の魚を用いた。それ以外の漁獲後の取り扱いは一定ではなく、詳細は不明である。インピーダンス（2, 5, 20, 50および100kHz）の測定は、魚体表面の水分をタオルで拭き取り、Fish Analyzerの電極を背鰭の位置において側線よ

表1. インピーダンスと脂質含量を測定した魚体のデータ

種名	採集日	漁法	尾叉長 (mm)		n
			平均±標準偏差	範囲	
マアジ	2018/7/13	まき網	277 ± 13	260 - 298	6
	2018/8/29	まき網	218 ± 15	208 - 244	5
	2018/11/19	まき網	242 ± 29	210 - 270	5
	2019/10/23	ひき網	232 ± 8	224 - 240	3
	2019/10/31	まき網	264 ± 27	234 - 286	3
	2019/12/12	まき網	285 ± 48	244 - 338	3
マルアジ	2017/6/15	釣り	259 ± 14	243 - 278	6
	2017/7/7	まき網	243 ± 5	237 - 248	6
	2017/8/29	定置網	246 ± 23	218 - 284	8
	2017/11/28	定置網	251 ± 22	218 - 284	7
	2017/12/8	まき網	276 ± 8	256 - 290	20
	2017/12/27	定置網	255 ± 16	240 - 272	3
	2018/2/20	まき網	278 ± 10	257 - 285	6
	2018/4/27	定置網	269 ± 8	218 - 278	5
	2018/10/29	釣り	279 ± 15	254 - 300	10
	2018/11/25	まき網	261 ± 24	216 - 302	40
	2019/9/26	定置網	258 ± 22	235 - 278	3
	2019/10/31	まき網	285 ± 13	272 - 298	3
2019/12/11	まき網	321 ± 8	316 - 330	3	
マサバ	2018/4/19	まき網	346 ± 10	334 - 358	4
	2018/7/17	まき網	356 ± 15	342 - 372	4
	2018/9/19	まき網	332 ± 12	316 - 346	6
	2018/10/3	まき網	329 ± 9	318 - 342	6
	2018/11/12	まき網	347 ± 6	340 - 352	3
	2019/12/10	まき網	384 ± 6	378 - 390	3
ゴマサバ	2018/7/17	まき網	355 ± 15	340 - 372	4
	2018/8/10	まき網	352 ± 15	332 - 371	5
	2018/10/3	まき網	335 ± 10	326 - 348	4
	2018/11/12	まき網	347 ± 5	342 - 350	3
	2019/2/28	まき網	307 ± 3	304 - 310	3
	2019/8/27	まき網	359 ± 8	348 - 368	4

n: データ数

り少し上で背鰭に対しておおよそ45度の角度で接触させた。電極の接触位置は吉満ら（2017a）と同様である。測定値の欠測を避けるため、個体ごとに2回から4回インピーダンスを測定し、電極の接触回数が少ない方が魚体表面の傷みが少ないと考え、1回目の測定値を採用した。1回の測定に要する時間は数秒であった。なお、Fish Analyzerは電圧極間の幅が3cmであるが、付属のアタッチメントを装着することで電圧極間の幅を1cmに変えることができる。インピーダンスを測定する電圧極はその極間の幅と同程度の深さまでを測定すると考えられており、魚体の厚みが小さいマアジについてはアタッチメントを装着してインピーダンスを測定した（久保ら2016）。その後、尾叉長 (mm)、体重 (g) および生殖腺重量 (g) を測定し、頭と内臓を取り除いて三枚におろした両半身を冷凍保存した。

脂質含量 (%) は、両半身（鱗、表皮、肋骨および肉間骨含む）をフードプロセッサーで均質化した後、無水硫酸ナトリウムにより脱水し、ジエチルエーテルを溶媒とするソックスレー抽出法を用いて測定した。各個体について脂質含量は1回測定した。

**データ解析** 各魚種について、5周波数のインピーダ

表2. Fish Analyzerで測定した魚種ごとのインピーダンス

種名	インピーダンス (Ω)				
	2kHz	5kHz	20kHz	50kHz	100kHz
マアジ	166 ± 50	152 ± 43	123 ± 31	101 ± 26	86 ± 23
マルアジ	222 ± 70	197 ± 52	148 ± 30	115 ± 21	96 ± 17
マサバ	204 ± 55	187 ± 48	151 ± 35	122 ± 28	104 ± 25
ゴマサバ	223 ± 49	205 ± 40	161 ± 24	126 ± 16	103 ± 12

平均値 ± 標準偏差

表3. 脂質含量とインピーダンスとの相関係数

種名	インピーダンス				
	2kHz	5kHz	20kHz	50kHz	100kHz
マアジ	0.427**	0.434**	0.484**	0.576***	0.656****
マルアジ	-0.050	-0.033	-0.003	0.048	0.110
マサバ	0.574***	0.614****	0.720****	0.802****	0.849****
ゴマサバ	0.293	0.308	0.393*	0.545****	0.685****

\*:  $p < 0.1$ ; \*\*:  $p < 0.05$ ; \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*\*:  $p < 0.001$

表4. インピーダンスから脂質含量を推定するための重回帰分析の結果

種名	回帰式	VIF	r	SE	n	有意水準
マアジ	$y = -0.222 \times (20\text{kHz}) + 0.420 \times (100\text{kHz}) - 2.963$	9.92	0.766	3.198	25	$p < 0.001$
マルアジ	-	-	-	-	-	-
マサバ	$y = -0.108 \times (5\text{kHz}) + 0.388 \times (100\text{kHz}) - 8.122$	5.71	0.923	2.223	26	$p < 0.001$
ゴマサバ	$y = -0.147 \times (20\text{kHz}) + 0.507 \times (100\text{kHz}) - 18.463$	3.92	0.765	2.952	23	$p < 0.001$

VIF: 説明変数間の分散拡大要因

r: 自由度調整済み重相関係数

SE: 推定値の標準誤差

n: データ数

ンスと脂質含量との関係を相関分析で調べた。また、脂質含量を目的変数、5周波数のインピーダンスを説明変数とする重回帰分析を行った。説明変数の選択はステップワイズ法を用いて行った。多重共線性を回避するため、説明変数間の分散拡大要因が10以上である場合は、目的変数との相関係数が低い方を説明変数から除外した。重回帰分析にはエクセル統計（株式会社社会情報サービス）を用いた。

肥満度と脂質含量との関係を相関分析で調べた。また、脂質含量を目的変数、肥満度を説明変数とする単回帰分析を行った。なお、肥満度は大下ら（2004）に倣い、肥満度 = (体重 - 生殖腺重量) × 10<sup>6</sup> / 尾又長<sup>3</sup>で計算した。

## 結 果

**インピーダンスと脂質含量との関係** インピーダンスは、4種すべてにおいて、低周波で測定した場合の方が高周波で測定した場合よりも大きい傾向があった(表2)。ソックスレー抽出法で測定した脂質含量は、マアジで0.1~15.1%，マルアジで0.1~14.6%，マサバで2.2~22.2%，ゴマサバで1.6~17.8%の範囲であった。インピーダンスと脂質含量との関係については、高周波のインピーダンスの方が低周波と比較して相関が強い傾向があり、マアジ( $r = 0.656, n = 25, p < 0.001$ )、マサバ( $r = 0.849, n = 26, p < 0.001$ )、ゴマサバ( $r = 0.685, n = 23, p < 0.001$ )のいずれも100kHzのインピーダンスと脂質含量との間で最も強い相関が認められた(表3)。一方、マルアジはすべての周波数のインピーダンスで脂質含量と有意な相関はなかった。

脂質含量を目的変数とする重回帰分析では、マアジは20kHzのインピーダンスと100kHzのインピーダンス( $r = 0.766, n = 25, p < 0.001$ )、マサバは5kHzのインピーダンスと100kHzのインピーダンス( $r = 0.923, n = 26,$

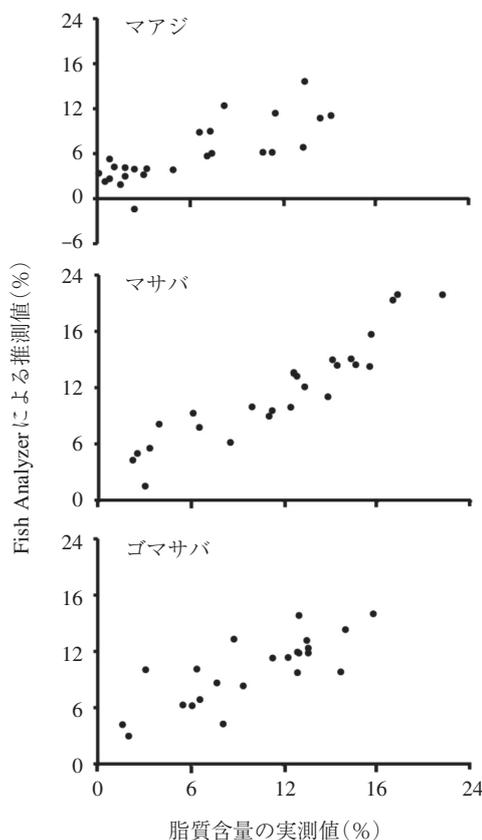


図1. 脂質含量の実測値とFish Analyzerによる推定値との関係

$p < 0.001$ )、ゴマサバは20kHzのインピーダンスと100kHzのインピーダンス( $r = 0.765, n = 23, p < 0.001$ )が説明変数として選択され、表4に示す重回帰式が得られた。脂質含量の実測値と重回帰式による推定値との関係を図1に示す。

**肥満度と脂質含量との関係** 肥満度は、マアジで11.9~16.4，マルアジで11.8~16.8，マサバで10.9~15.5，ゴマサバで12.2~14.9の範囲であった。肥満度と

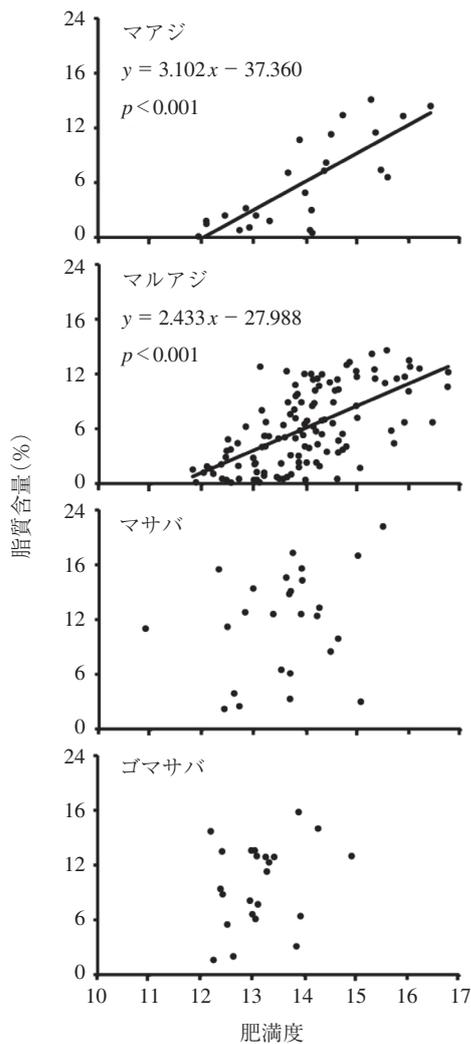


図2. マアジ, マルアジ, マサバおよびゴマサバにおける肥満度と脂質含量との関係

脂質含量との関係については, マアジ ( $r = 0.789$ ,  $n = 25$ ,  $p < 0.001$ ), マルアジ ( $r = 0.629$ ,  $n = 120$ ,  $p < 0.001$ ) で有意な相関が認められた (図2)。肥満度を  $x$ , 脂質含量を  $y$  とすると, マアジの回帰式は  $y = 3.102x - 37.360$  (脂質含量推定値の標準誤差は3.126), マルアジの回帰式は  $y = 2.433x - 27.988$  (脂質含量推定値の標準誤差は3.286) であった。一方, マサバ ( $n = 26$ ,  $p = 0.199$ ) およびゴマサバ ( $n = 23$ ,  $p = 0.183$ ) については, 肥満度と脂質含量との間に有意な相関はなかった。

## 考 察

本研究では, 鮮魚が水揚げされる漁業現場において, 漁業者や漁協職員などが迅速かつ簡便に魚体の脂質含量を知ることがを目的として, Fish Analyzerによる生体電気インピーダンス法の活用に向けた検討を行った。迅速かつ簡便に魚体の脂質含量を知ることができる別の方法として, 魚体を構成する分子 (水分, 脂質など) が特定の波長の光を吸収することを利用した近赤外分光分析法が

知られている (広瀬ら2016)。寫本ら (2001) のマアジの研究では, 本研究の生体電気インピーダンス法よりも, 近赤外分光分析法で脂質含量の実測値と推定値との間に強い相関が得られているが, この方法の機器は比較的高価である。生体電気インピーダンス法による機器は比較的安価であるため, 零細な経営体でも購入しやすく, 今後幅広く利用される可能性がある (久保ら2016)。ただし, インピーダンスは魚体温度や細胞膜の劣化の影響を受けること (加藤ら2000, Yuan *et al.* 2019), マルアジのようにインピーダンスと脂質含量との間の相関が得られない魚種があることに注意が必要である。

袁ら (2019) は, 魚肉の保存初期 (氷蔵24時間以内) にインピーダンスが一時的に上昇するが, この現象には死後硬直が関わっていると推測した。本研究では, 様々な漁法によって漁獲された魚での脂質推定を想定しており, 標本魚間の死後硬直の程度の違いは考慮しなかったが, より高精度に脂質含量を推定するためには, 死後硬直の程度を把握する必要がある。

重回帰分析を行ううえで, 漁業現場での利便性を考慮して, 説明変数には尾叉長や体重などの体格に関するデータを用いず, インピーダンスのみを用いた。マアジ, マサバおよびゴマサバでは, インピーダンスと脂質含量との間で有意な関係性が得られた。得られた重回帰式は, 3種とも100kHzのインピーダンスの係数が正の値, もう一つ (5kHzまたは20kHz) のインピーダンスの係数が負の値であった。久保ら (2016) は養殖ブリを用いた研究で, 低周波である5kHzのインピーダンスは鮮度に関する因子で, 時間的要素を補正する役割があると解釈した。インピーダンスと脂質含量との間の相関係数はマサバ (0.923), マアジ (0.766), ゴマサバ (0.765) の順に高かった。マサバの方がマアジよりもインピーダンスと脂質含量との間の相関係数が高くなることは, 魚肉の導電率と脂質含量との関係を調べた長谷川・小林 (2010) の結果と一致していた。マサバはインピーダンスの利用に適した特性 (魚の形態や脂質含量の範囲など) を有していると考えられる。インピーダンスから推定した脂質含量の利用には誤差を考慮する必要がある。例えば, 誤差を加味した基準となる脂質含量値を設定し, 漁獲物を脂質含量が多いグループと少ないグループに分類するためにFish Analyzerを利用するという方法が考えられる。今後の課題として, 上記3種についてデータ数をさらに増やし, インピーダンスと脂質含量との関係式を検証する必要がある。

一方, マルアジでは有意な関係式を得ることができなかった。小山ら (2018) は, 尾叉長35cm以上と35cm未満のマサバそれぞれについてインピーダンスから脂質含量を推定する回帰式を作った結果, 35cm未満ではその精度が低下することを示し, その理由として, 魚体の体格に依存する通電可能な体積や体液の量や分布, 通電可能である脂質組織以外の割合等の差異による影響を指

摘した。マルアジの形態はマアジよりも体高が低くて体幅が大きく、サバ類よりも体高が低くて体幅が小さい傾向がある。このようなマルアジの形態的特徴が脂質含量の推定を困難にした可能性がある。なお、一部のマルアジ ( $n=57$ ) については、電圧極間の幅が1cmのアタッチメントを装着した測定も予備的に行ったが、有意な相関は認められなかった。また、Fish Analyzerでは電極を接触させた部分周辺のインピーダンスを測定するが、ソックスレー抽出法では頭や背骨などを除いた魚体全体の脂質含量を測定したため、マルアジでは両者の不一致の影響を強く受けた可能性がある。この場合、マルアジは脂質を筋肉全体に均質に蓄積しない特性を持つことなどが考えられるが、これを確かめるためには部位ごとにソックスレー抽出法で脂質含量を測定する必要がある。いずれにしても、魚体の一部分で測定したインピーダンスから魚体全体の脂質含量を推定できるかは魚の形態や魚種に依存すると考えられる。

本研究では、インピーダンスと脂質含量との関係および肥満度と脂質含量との関係を調べたが、どちらで有意な関係が認められたかは魚種によって異なっていた。マアジでは、インピーダンスと脂質含量との関係および肥満度と脂質含量との関係の両方が有意であった。相関係数(脂質含量推定値の標準誤差)はインピーダンスで0.766 (3.198)、肥満度で0.789 (3.126) とその違いは大きくはなく、漁業現場での利便性を考慮するとインピーダンスを用いても良いと考えられる。マルアジではインピーダンスと脂質含量との間で有意な関係はなかったが、肥満度と脂質含量との間で有意な関係があったことから、肥満度は脂質含量を表す有効な指標となり得る。武田ら(2019)はマルアジの肥満度は10~12月に高くなることを報告しており、この時期に脂質含量が高くなると本研究の結果から解釈できる。一方、インピーダンスと脂質含量との関係が比較的強かったマサバおよびゴマサバについては、肥満度と脂質含量との間に有意な関係はなかった。したがって、これら2種の脂質含量を表すためには、インピーダンスを測定することが有効である。以上のように、指標値を用いて脂質含量を表す場合には、魚種ごとにインピーダンスか肥満度かの判断が必要である。五十川ら(2008)は足摺岬沖で漁獲されたゴマサバについて、肥満度と脂質含量との関係は季節によって異なり、秋から冬以外の時期は肥満度から脂のりを推測することは困難であると考察した。また、吉満ら(2018)は銚子漁港に水揚げされたマサバについて、肥満度と脂質含量との関係は脂質含量の増加期の方が減少期と比較して強くなる傾向があることを示した。本研究では季節別のデータは十分では無く、インピーダンスと脂質含量および肥満度と脂質含量との関係を季節別に調べることは今後の課題である。

本研究では、紀伊水道で漁獲された浮魚4種に対して主にFish Analyzerで測定したインピーダンスと脂質含量

との関係を調べた。4種(マアジ、マルアジ、マサバ、ゴマサバ)のうち3種(マアジ、マサバ、ゴマサバ)については、Fish Analyzerの電極を魚体表面に接触させるという作業だけで魚体の脂質含量を推定できることが明らかになった。一方、マルアジについては、インピーダンスから脂質含量を推定できないが、肥満度から脂質含量を推定できることが明らかとなった。Fish Analyzerによるインピーダンス測定は、魚種によっては適用が難しいことに注意を払う必要があるものの、脂質含量を迅速かつ簡便に知るうえで総じて有効であると考えられた。

## 謝 辞

有田箕島漁業協同組合の田伏英雄氏、紀州日高漁業協同組合の塩谷昇氏、中嶋勝則氏、松村和映氏、和歌山南漁業協同組合の浦田忠一氏、田ノ岡誉将氏、株式会社土佐丸の中田隆文氏にはサンプリングに多大なるご協力をいただいた。和歌山県水産試験場の岩橋恵洋場長には、本論文発表の機会をいただくとともに、研究全般にわたりご指導をいただいた。同試験場の森康雅副場長、武田保幸資源海洋部長、松本卓也氏をはじめとする職員各位には多岐にわたりご協力・ご助言をいただいた。以上の皆さまには記してここに謝意を表す。

## 文 献

- 長谷川淳・小林正三(2010) 魚肉における導電率と脂質含量の関係. 千葉水産研報, **5**, 25-30.
- 広瀬あかり・吉武政広・小野寺純・大場邦夫・榊原卓哉・伊藤 暁・芦田慎也・椎名康彦(2016) 近赤外分光分析法による養殖クロマグロの脂質含量測定. 日水誌, **82**, 753-762.
- 五十川章子・山岡耕作・森岡克司(2008) 清水さばの脂質含量と生態形質の季節変動-旬の解明の一考察-. 日水誌, **74**, 207-212.
- 加藤宏郎・坂口守彦・大井康之・丸尾 信・豊田 薫(2000) インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定(第1報) 魚肉の電気特性と高周波域の実用的鮮度指標の導出. 農業機械学会誌, **62**, 76-83.
- 小山智行・長谷川淳・瀧口明秀・橋 勝康・村田昌一・谷山茂人・小林正三(2018) 電気抵抗値を用いたマサバの魚肉脂質含量の推定技術の開発. 日水誌, **84**, 274-279.
- 久保久美子・古賀恵実・松本欣弘・桑原浩一(2014) 簡易測定器による非破壊での養殖クロマグロ肉の脂肪量推定の可能性. 長崎県水産試験場研究報告, **40**, 21-27.
- 久保久美子・松本欣弘・桑原浩一・岡部修一・谷山茂人・橋 勝康・村田昌一(2016) インピーダンスを用いたブリおよびマアジの脂肪量の非破壊測定. 日水誌, **82**, 743-752.
- 道根 淳(2009) 鳥根県の水産業とブランド化への取組み. 日本海水学会誌, **63**, 125-129.
- 大下誠二・依田真里・檜山義明(2004) 東シナ海におけるマアジの成熟特性の長期的な変化. 水産海洋研究, **68**, 245-252.

- 大富 潤 (2006) 鹿児島湾産キュウシュウヒゲ (ソコダラ科) の個体群構造, 肥満度および相対成長. 日水誌, **72**, 217-222.
- 寫本淳司・長谷川薫・井出 圭・河野澄夫 (2001) 生・凍結マアジの近赤外分光法による脂肪量の非破壊測定. 日水誌, **67**, 717-722.
- Shimose T, Kanaiwa M, Tanabe T (2018) Influence of the fat content on the auction price of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* at Japanese fish markets. *Fish. Res.*, **204**, 224-230.
- 武田保幸・原田慈雄・武田崇史 (2019) 紀伊水道周辺海域におけるマルアジ肥満度の季節変化. 和歌山県農林水研報, **7**, 175-182.
- Tokunaga K, Saeki S, Taniguchi S, Nakano S, Ohta H, Nakamura M (2020) Nondestructive evaluation of fish meat using ultrasound signals and machine learning methods. *Acquacult. Eng.*, **89**, 102052.
- 佃 信夫 (1980) 多獲性赤身魚の脂質-利用・加工の問題点-. 日食工会誌, **27**, 210-219.
- 上原伸二・清水 誠 (1999) 東京湾におけるイシガレイの成熟とそれに伴う肥満度, 摂餌強度等の変化. 日水誌, **65**, 209-215.
- 吉満友野・川島時英・小林正三 (2017a) 生体電気インピーダンス法によるキンメダイ粗脂肪量の推定. 水産技術, **9**, 63-69.
- 吉満友野・川島時英・小林正三 (2017b) マサバにおけるインピーダンスの経時変化を考慮した粗脂肪量の推定方法. 千葉水総研報, **11**, 1-7.
- 吉満友野・加藤正人・小林正三 (2018) 銚子漁港に水揚げされたマサバにおける脂質含量の季節変動と生殖腺の発達との関係性. 日水誌, **84**, 1017-1024.
- Yuan P, Jiang T, Hirasaka K, Wang Y, Matsuo K, Miyazaki R, Tachibana K, Taniyama S (2019) Application of bio-impedance analysis to estimate the condition of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) muscle at different storage temperatures. *Bioelectromagnetics*, **40**, 488-497.
- 袁 鵬翔・王 曜・宮崎里帆・平坂勝也・橘 勝康・谷山茂人 (2019) 養殖ブリの種々の保存温度における死後硬直と魚肉インピーダンスの関係. 日食化誌, **26**, 11-16.