

原著論文

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

吉満友野*¹・川島時英*¹・小林正三*²

Bioelectrical impedance estimation of lipid content of alfonfino *Beryx splendens*

Tomoya YOSHIMITSU, Tokifusa KAWASHIMA and Shozo KOBAYASHI

The application of bioelectrical impedance measurement to estimate the lipid content of alfonfino *Beryx splendens* was studied. Alfonsofins were caught in the sea off Choshi on December 8 and 10, 2015, and May 9, 2016 (68 specimens). The impedance of fish meat was measured using five discrete frequencies (2, 5, 20, 50, and 100 kHz) on the day of return to land and after one day of storage. Lipid content of the fish specimens was separately estimated by the conventional method and its correlation with impedance was analyzed by multiple regression analysis using the AIC stepwise method. The highest correlation was obtained by using 100 kHz for the specimens on the day of catch. However, measurements at 20 and 100 kHz were required for the one-day-old specimens. Adjusted R-squared values for the fish on the day of return to land and the ones stored for one day were both 0.74.

キーワード：生体電気インピーダンス法，キンメダイ，粗脂肪量，マルチ周波数
2016年7月21日受付 2016年12月16日受理

魚類の粗脂肪量は，性別や季節によって異なることが知られており，個体差も大きい（Luis and Passos 1995, Rasoarahona et al. 2005, Ramesh et al. 2013, Komprda et al. 2003）。キンメダイ *Beryx splendens* の粗脂肪量は，春から夏期に高く，冬期に低くなる（飯沼 2014）。カタクチイワシ *Engraulis japonicus*（池田 1987），ゴマサバ *Scomber australasicus*（五十川ら 2008），マイワシ *Sardinops melanostictus* では（小林 1996），粗脂肪量の季節変動は成熟と産卵に関係していると報告されている。キンメダイでも産卵期前に粗脂肪量が最も高くなると報告されている（飯沼 2014）。鮮魚としての商品価値は，脂質含量によって異なるので，仲卸業者や流通関係者から，この情報提供に対する要望は高い。当研究センターでは銚子漁港に水揚げされる多獲性魚の粗脂肪量を定期的に比重法（小林 2003）で測定し，情報提供を行っている。また，キンメダイは月に一回，粗脂肪量を測定し，その結果を銚子漁港第三卸売市場に掲示している。八戸

でも，粗脂肪量に関する測定データは，水産加工業者が加工品の製造をする上で重要な指標となっているので，青森県産業技術センターから情報提供が行われている（角ら 2013）。

粗脂肪量は一般にエーテル抽出法（中澤ら 2013）で測定されるが，魚肉の採取，均質化及び試料の乾燥の前処理操作，脂質の抽出に長時間を要するため迅速性に欠ける。比重法（小林 2003）は魚の前処理でドレスを調整し，電子天秤で空中重量及び水中重量を測定するだけなので，エーテル抽出法のような特別な分析装置を必要とせず，多数の試料を測定でき，測定精度は高い。しかしこれらの測定方法では魚体を破壊する必要があるので，貴重な商品を失うことになる。そこで，非破壊で魚体の粗脂肪量を推定する，近赤外分光分析法（Lee et al. 1992, 山内ら 1999）やマイクロ波分析技術（Kent 1990）が提案されている。近赤外分光分析法は非破壊測定法の中でもっとも高精度であると考えられるが，測定装置が

*¹ 千葉県水産総合研究センター流通加工研究室銚子分室

〒 288-0001 千葉県銚子市川口町 2-6385-439

Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Kawaguchi 2-6385-439, Choshi, Chiba 288-0001, Japan

t.yshmts3@pref.chiba.lg.jp.

*² 千葉県水産総合研究センター流通加工研究室

高価なため、漁業者、加工業者、流通業者などには普及していない。このような中、人の体脂肪計の測定原理である生体電気インピーダンス法で魚の粗脂肪量を推定する方法が研究されている (Duncan et al. 2007, 長谷川・小林 2010, 小山ら 2014, Stolarski et al. 2014)。これらの研究では、ある特定の周波数でのインピーダンスを測定し、粗脂肪量を推定している。また、推定精度を向上させるため、人の脂肪量を測定する場合に、複数の周波数を用いるマルチ周波数測定法でインピーダンスを測定することが推奨されている (五十嵐 2008, 山本・西亀 2000)。そこで、本研究ではマルチ周波数測定法をキンメダイの粗脂肪量の推定方法について検討した。また、インピーダンスは時間が経つと変化する場合があり、生体電気インピーダンス法を用いた測定器であるフィッシュアナライザ (大和製衡 (株) 製) では、水揚当日と水揚翌日の

検量線が搭載されている魚種もある (大和製衡 2016)。本研究でも、水揚当日と水揚翌日のインピーダンスを測定し、インピーダンスが変化しているのか検討した。

材料と方法

インピーダンスと粗脂肪量の測定方法 2015年12月8日, 2015年12月10日, 2016年5月9日に銚子漁港で水揚された, 合計68個体のキンメダイ (尾叉長24.2~36.9 cm, 平均30.3 cm. 体重1165.9~321.6 g, 平均667.3 g) を用いて, 粗脂肪量とインピーダンスの関係を検討した。キンメダイは海水氷に11時から貯蔵し, 貯蔵温度が上昇しないように氷を適宜追加した。魚体を冷却した後, 魚体の背鰭を上にして45度の位置に, フィッシュアナライザの電極を接触させ, インピーダン

表1. 周波数別のインピーダンスと *t*-test の結果

周波数	インピーダンス (Ω)		平均値の差	<i>t</i> -test <i>p</i> -value
	平均値±標準偏差			
	水揚当日	水揚翌日		
2 kHz	301 ± 24	285 ± 31	16	<0.001
5 kHz	265 ± 20	253 ± 26	12	<0.001
20 kHz	212 ± 18	201 ± 19	11	<0.001
50 kHz	179 ± 18	167 ± 17	12	<0.001
100 kHz	156 ± 19	144 ± 16	12	<0.001

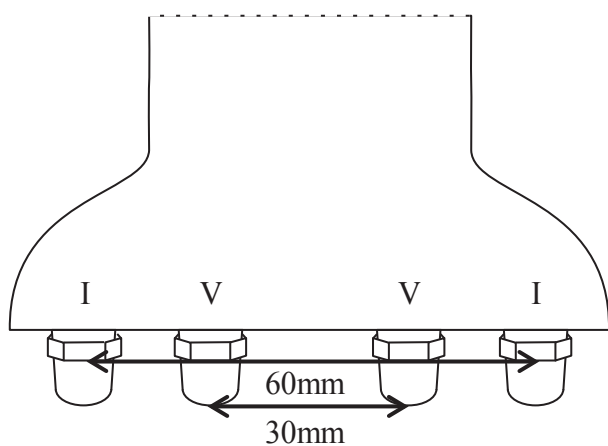


図1. インピーダンスを測定した電極: I: 電流極, V: 電圧極

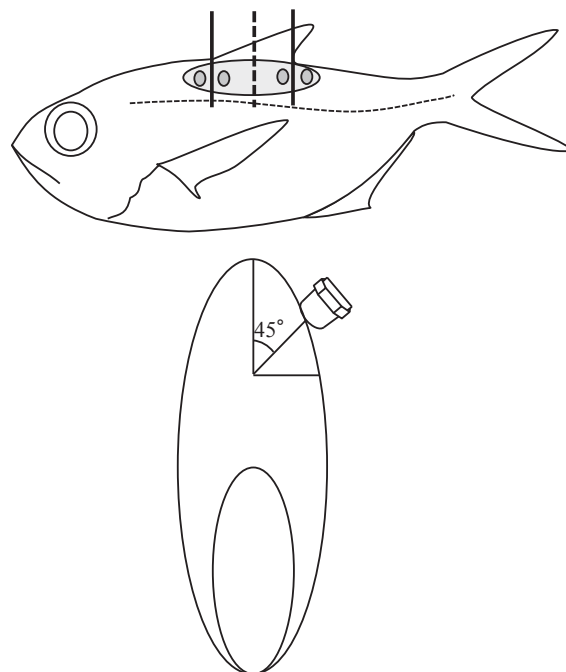


図2. キンメダイと電極の接触部位

灰色の部分はフィッシュアナライザを表し, 4つの円は電極を表す
フィッシュアナライザに被さる実線は背鰭基部の位置を表しており, 破線は2本の実線から等しい距離にある中間の線である
フィッシュアナライザの2つの電流極の距離が破線から等しくなるように, 電極と魚体を接触させた

スを測定した (図 1, 2)。インピーダンスは、電極の接触方向に深さ 40 mm までの組織について測定することができる (小山ら 2014)。また、フィッシュアナライザでは小山ら (2014) の結果を踏まえて、5 種類 (2 kHz, 5 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz) の周波数でインピーダンスを測定できるようにされている。本研究では、これら全ての周波数を測定に用いた。粗脂肪量は、骨を取り除いた皮付きのフィレーを均質化して、エーテル抽出法で測定した (中澤ら 2013)。

水揚当日と水揚翌日のインピーダンスの比較 ゴマサバでは冷蔵庫に貯蔵して、貯蔵開始日、1 日後、4 日後のインピーダンスを 1~100 kHz の周波数を用いて測定したところ、50~100 kHz での測定では 21 時間程度の時間経過で変化がないことが報告されている (小山ら 2014)。そこで、キンメダイでは貯蔵の時間経過によってインピーダンスの値が変化するかを知るため、水揚当日の 15 時と水揚翌日の 12 時の 2 回に分けてインピーダンスの測定を行った。周波数別に水揚当日と翌日のインピーダンスで対応のある *t*-test を行った。

粗脂肪量の推定方法 インピーダンスと粗脂肪量の関係性を検討するにあたり、漁獲からの経過時間が関係に影響を与える可能性があったため、水揚当日と水揚翌日のそれぞれで、周波数別にインピーダンスと粗脂肪量の相関分析を行った。また、粗脂肪量を推定するために、複数の周波数を同時に解析に使用するマルチ周波数測定法を用いてインピーダンスを測定した。粗脂肪量を目的変数とし、各周波数のインピーダンスを説明変数として重回帰分析を行った。分析は水揚当日と翌日それぞれのデータで行った。変数選択には、AIC (Akaike's information criterion) ステップワイズ変数増減法を用いた (Akaike 1974, 金 2007)。しかし、選ばれた説明変数同士に強い相関がある場合には多重共線性が生じる (吉田 1987)。この多重共線性の有無を評価するには VIF (variance inflation factor) が指標として使われている。VIF が 10 以上では多重共線性の可能性が強いと解釈される。そこで多重共線性を回避するために、選択する変数の VIF が 10 以上となる場合はその変数を取り除いて、さらに AIC ステップワイズ変数増減法による変数選択を行った。これを、すべての変数の VIF が 10 以下になるまで繰り返した。上記の解析には R 3.1.0 を用いた。

結果

周波数ごとの水揚当日と水揚翌日のインピーダンスと *t*-test の結果を表 1 に示した。キンメダイ 68 個体のインピーダンスの平均値は、低い周波数で測定した場合の方が高い周波数で測定した場合よりも大きく、この傾向は水揚当日と水揚翌日で同様であった。周波数ごとに水揚

当日と水揚翌日のインピーダンスについて対応のある *t*-test を行った結果、すべての周波数で有意差が認められた ($p < 0.001$)。インピーダンスはすべての周波数で水揚当日より水揚翌日の方が小さくなった。

粗脂肪量とインピーダンスの関係を、測定日別周波数別に図 3 に示した。本研究で推定に用いたキンメダイの粗脂肪量は 3.31~19.29% であった。この粗脂肪量とインピーダンスの関係を見るために、水揚当日と水揚翌日それぞれの全ての周波数で相関関係をみた。その結果、どの周波数でも正の相関係数になった。つまり、粗脂肪含量が高いほど大きなインピーダンスが得られるということである。しかし、2~20 kHz で測定した場合、水揚翌日の測定で有意な相関がみられなかった ($p > 0.05$)。どの周波数でも相関係数は水揚翌日より水揚当日の方が高かった。周波数ごとの相関係数を比較すると、低周波数より高周波数を用いたほうが高かった。

VIF を考慮して、AIC に基づく変数選択をした重回帰分析の計算過程を表 2 に示した。水揚当日では 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz を説明変数としたモデルの AIC が最も小さかったものの、全ての説明変数で VIF が 10 以上だった。そのため、VIF が最も大きかった 50 kHz の説明変数を取り除いて、20 kHz と 100 kHz を説明変数としたモデルを計算した。このモデルでも、両方の説明変数で VIF が 10 以上であった。20 kHz だけを説明変数としたモデルの AIC は、316.87 であり、100 kHz だけを説明変数としたモデルの AIC は 290.84 であった。このことから、100 kHz だけを説明変数としたモデルを最適モデルとした。水揚翌日でも、20 kHz, 50 kHz, 100 kHz を説明変数としたモデルの AIC が最も小さかった (表 2)。しかし、全ての説明変数で VIF が 10 以上であった。VIF が最も大きい 50 kHz の説明変数を取り除いたモデルである、20 kHz と 100 kHz の VIF は 4.13 で 10 以下になっていることから、これを最適モデルとした。水揚翌日の 2, 5, 20 kHz で測定したインピーダンスと粗脂肪量には有意な相関が認められなかったもの ($p > 0.05$) (図 3)、マルチインピーダンス法である 20 kHz と 100 kHz の複数の周波数を用いて粗脂肪量を推定した結果では重回帰式に有意性が認められた ($p < 0.001$) (表 3)。水揚当日と水揚翌日のどちらとも自由度調整決定係数は 0.74 であった (表 3)。これら水揚当日と水揚翌日の推定式を用いて推定した粗脂肪量と、エーテル抽出法で測定した粗脂肪量には強い相関が見られた ($p < 0.001$) (図 4)。

考察

キンメダイのインピーダンスは、水揚当日に比べ、どの周波数でも水揚翌日に小さくなった (表 1)。これは、鮮度が低下することにより細胞膜が劣化して薄くなり、イオン電導性が増すとともに、細胞膜の電気容量が増加することが原因だと考えられている (加藤ら 2000a)。

表 2. AIC ステップワイズ法による重回帰分析の過程

測定日	説明変数					AIC
	VIF					
水揚当日	2 kHz	5 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz	286.37
	46.53	227.98	611.24	1067.56	321.42	
		5 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz	284.39
		40.68	416.86	993.02	318.42	
			20 kHz	50 kHz	100 kHz	282.40
			125.40	732.87	292.04	
			20 kHz		100 kHz	287.83
		12.96		12.96		
		20 kHz			316.87	
		—				
				100 kHz	290.84	
				—		
水揚翌日	2 kHz	5 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz	291.64
	77.72	318.17	696.74	780.93	182.80	
		5 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz	289.64
		118.24	632.69	777.20	181.96	
			20 kHz	50 kHz	100 kHz	288.29
			112.46	497.69	163.63	
			20 kHz		100 kHz	291.97
		4.13		4.13		

一番上が全ての説明変数を用いたモデルであり、中間のモデルは計算過程のモデルであり、一番下が最適モデルである
 VIF: 分散拡大係数
 AIC: 赤池情報量規準

表 3. AIC ステップワイズ法による重回帰分析によって得られた最適モデル

測定日	パラメータ		Adjusted R^2	p -value
	切片と説明変数			
水揚当日	切片		0.74	< 0.001
	100 kHz	-17.07 ± 2.03		
水揚翌日	切片		0.74	< 0.001
	20 kHz	0.18 ± 0.01		
	20 kHz	-2.38 ± 2.55		
	100 kHz	-0.23 ± 0.03		
	100 kHz	0.42 ± 0.03		

Adjusted R^2 , 自由度調整済決定係数

水揚当日と水揚翌日ともに 68 尾ずつ分析に用いた

マダイ *Pagrus major* では 0.01~10000 kHz の周波数を用いて、即殺 2 時間後と 3 日後のインピーダンスを測定しており、1~10 kHz での 3 日後のインピーダンスは 2 時間後と比べて大きく減少していた。また、1 kHz よりも低い周波数であると、周波数が低いほど 2 時間後と 3 日後のインピーダンスの差は小さくなっていた。本研究では 2~100 kHz で測定を行っており、周波数が最も低い 2 kHz でインピーダンスが、他の周波数と比較して最も減少していた (表 1)。ヨシキリザメ *Prionace glauca* では

1~100 kHz で、氷蔵期間を 0, 2, 4, 8 日の 4 回に分けてインピーダンスが測定されている (小林 2015)。この結果でも、周波数が低いほど、氷蔵中のインピーダンスの減少度合いが大きかった。ゴマサバでも 1~100 kHz で、冷蔵期間を 0, 1, 4 日の 3 回に分けて測定されている (小山 2014)。この結果では、1~50 kHz までは日が経つごとにインピーダンスが減少したが、50~100 kHz では日が経ってもインピーダンスに変化はなかった。これらのことから、2, 5 kHz で測定したインピーダンスは多くの魚

種で鮮度の影響を強く受けたといえる。そして、本研究で用いたキンメダイでも同様であった。そのため、鮮度に影響されにくい高周波数での測定の方が粗脂肪量を推定するには好ましいと考えられる。また、2~100 kHzの間で測定した限りでは周波数が高いほどインピーダンスと粗脂肪量の相関が強かったため、精度の点からも好ましいと判断した(図3)。フィッシュアナライザでは2 kHz, 5 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHzの5種類の周波数しかインピーダンスを測定できないため、最も周波数が高い100 kHzが水揚当日と水揚翌日の両日ともに最適モデルに選ばれたと考えられる(表1)。このことから、100 kHzよりも高い周波数を用いれば、さらに精度が向上すると考えられる。

水揚当日の粗脂肪量とインピーダンスには、全ての周波数で正の相関関係がみられた(図3)。これは、2~100 kHzの周波数では、血液や筋肉などの組織と比べて、粗脂肪がインピーダンスに強い影響を与えるためである。実際に、犬の場合では1~100 kHzの周波数を用いて様々な組織の電気抵抗値を調べると、脂肪の電気抵抗値は血液や筋肉などの組織よりも大きい(Geddes and Baker 1967)。また、インピーダンスと粗脂肪量の相関係数は周波数によって異なっていた。これは、金井(1975)が示唆するように、組織によってインピーダンスを測定できる周波数が異なることが原因であると考えられる。本研究で使用した周波数では100 kHzが最もキンメダイの粗脂肪量を推定するのに適しており、水揚当日および水揚翌日のいずれについても測定周波数の低下とともに相関係数は小さくなった(図3)。このことから、100 kHzよりも高い周波数で、キンメダイの粗脂肪量を推定するのに最適な周波数があると考えられる。そのため、本研究で測定した周波数では低周波数ほど、最適な周波数から離れているために相関係数が小さくなったと考えられる。また、生体電気インピーダンス法では粗脂肪量の他にも様々なものを測定することができる。人の場合には、全身水分量や細胞外液量も推定することができる(バウンガートナー2001)。これらの推定式は、人種、性別、年齢などによって異なっている(バウンガートナー2001)。魚類では水分、塩分、灰分、タンパク質などを推定している(Chevalier et al. 2006, Duncan et al. 2007)。また、ヨーロッパシレーバス *Dicentrarchus labrax* ではインピーダンスを用いて、冷凍方法の違いを判別している(Vidacek et al. 2008)。この方法では、本研究で粗脂肪量を推定するために用いた周波数よりも高い、500~1000 kHzが有効であるとしている。ヨーロッパヘダイ *Sparus aurata* では解凍品かどうかの判別を行っている(Fuentes et al. 2013)。

水揚当日の粗脂肪量を推定するための最適モデルには、100 kHzの周波数だけを説明変数として取り扱うモデルが選ばれ、水揚翌日は100 kHzと20 kHzが選ばれた(表2)。水揚当日は100 kHzと20 kHzを説明変数とした場合、

どちらの周波数もVIFが12.96となった。しかし、水揚翌日のVIFはどちらの周波数でも4.13なので多重共線性を回避していた(表2, 図3)。このことから水揚当日は、20 kHzと100 kHzで測定したインピーダンス同士に相関があるものの、周波数によってインピーダンスの経時変化の仕方が異なり、そのため水揚当日と水揚翌日で最適モデルの説明変数が異なると考えられる。また、20 kHzよりも50 kHzの方がインピーダンスと粗脂肪量の相関係数が高かった。水揚翌日の粗脂肪量を推定するための重回帰式は100 kHzと50 kHzを説明変数とした場合の方が、100 kHzと20 kHzを説明変数にした場合よりもAICは小さかった。しかし、100 kHzと50 kHzはVIFが10以上になり多重共線性がみられたので、100 kHzと20 kHzを説明変数にしたモデルが最適モデルに選ばれた。低周波数では細胞外のインピーダンスを測定しており、高周波数では細胞内のインピーダンスを測定していると考えられている(金井1975)。キンメダイの場合は、20 kHzで細胞内のインピーダンスを、100 kHzで細胞外のインピーダンスを測定できたため、多重共線性を回避することができたと考えられる。

浜田漁港では粗脂肪量が10%以上のマアジ *Trachurus japonicus* をブランド水産物として販売している(清川・井岡2007)。粗脂肪量の測定には、測定値と推定値の相関係数が0.98と大きい、近赤外分光測定器を用いている。本研究の結果では、相関係数が0.86と0.87であり(図4)、個別別の測定を行うには、近赤外分光測定器のように精度を高くする必要がある。本研究の結果を用いる場合には、あるロットから複数の標本を抽出して粗脂肪量を測定し、そのロットの粗脂肪量の分布を把握することや、定期的に複数の標本の粗脂肪量を測定して、季節変動を調査するというように、個別別の粗脂肪量を測定するのではなく、複数の標本からその全体の粗脂肪量の分布を把握するという利用法が考えられる。

本研究の結果から、生体電気インピーダンス法を用いてキンメダイの粗脂肪量を推定することができるようになった。インピーダンスは時間が経つにつれて減少するので、本研究の結果を用いてキンメダイの粗脂肪量を推定する場合は、水揚当日か水揚翌日にインピーダンスの測定を行う必要がある。水揚日が分からない場合、粗脂肪量の数値を推定することができないが、同じ水揚日であると分かっている個体同士ならば、インピーダンスが大きい方が粗脂肪量も多い個体である。また、インピーダンスは貯蔵温度による影響を受ける可能性がある(金井1975)、海水氷で冷却し続ける必要がある。そして、生体電気インピーダンス法での推定精度を向上させるためには、インピーダンスに影響を与える、鮮度や貯蔵温度による効果を検討する必要がある。また、インピーダンスは電極と魚体の接触方向(図2)に深さ40 mmまでの組織について測定している(小山ら2014)。本研究では尾叉長24.2 cm以上のキンメダイを用いているが、

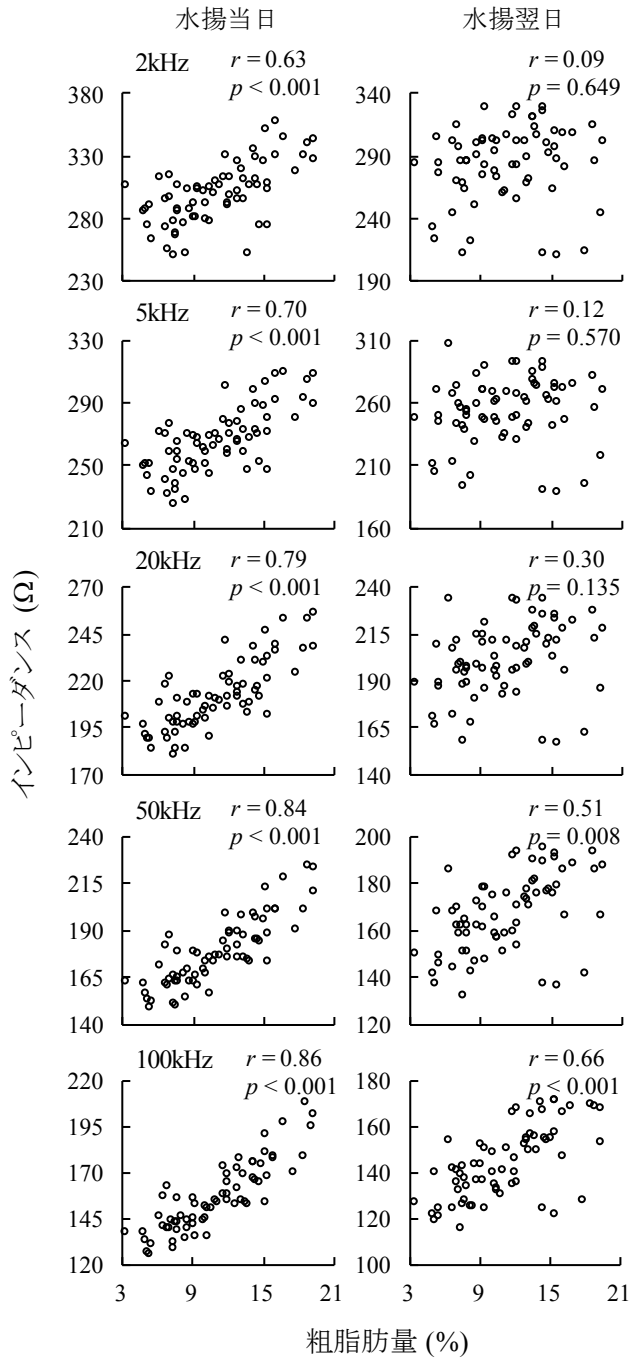


図3. 粗脂肪量とインピーダンス

魚体サイズが小さいと、測定値に誤差が出る可能性もある。今後は、小型個体における誤差の影響について検討する必要がある。

謝辞

本研究を実施するに当たり、大和製衡株式会社には多大なご協力とご指導を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

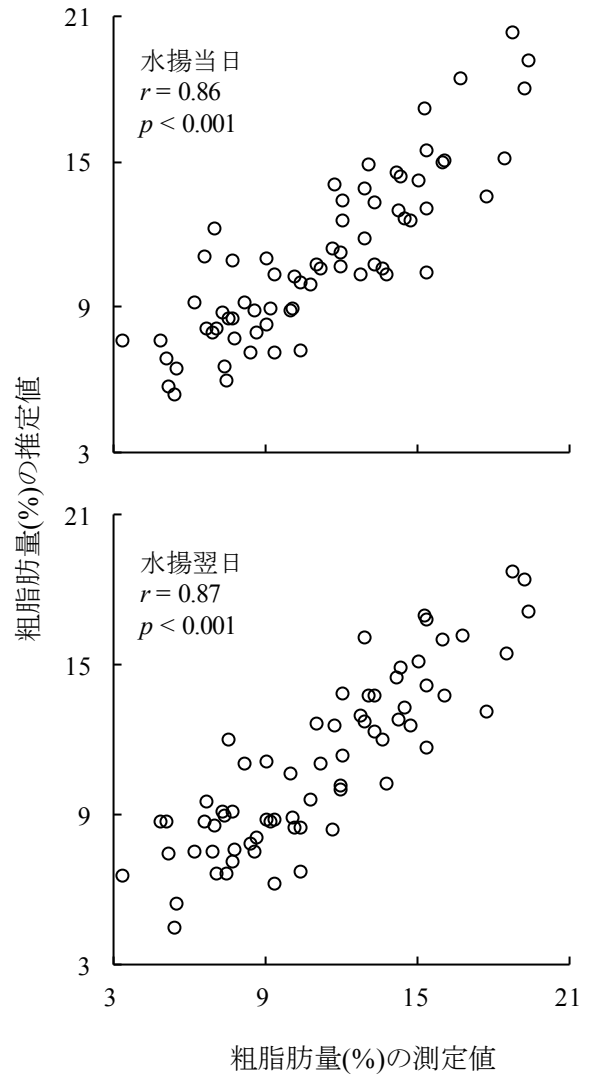


図4. 粗脂肪量の測定値と推定値

文献

- Akaike H. (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans, Autom. Contr.*, **19**, 716-723.
- バウンガートナー N. リチャード. (2001) 電気インピーダンス法と全身電気伝導率法. 「身体組成研究の基礎と応用」(アレックス F. ロッシュ, ステイブン B. ハイムズフィールド, テイモシイ G. ローマン編著, 小宮秀一監訳), 大修館書店, 東京. p.91-118.
- Chevalier D, Ossart F, Ghommidh C. (2006) Development of a non-destructive salt and moisture measurement method in salmon

- (*Salmo salar*) filets using impedance technology. *Food Cont.*, **17**, 342-347.
- Duncan M, Craig SR, Lunger AN, Kuhn DD, Salze G, McLean E. (2007) Bioimpedance assessment of body composition in cobia *Rachycentron canadum*(L. 1766). *Aquaculture.*, **271**, 432-438.
- Fuentes A, Masot R, Segovia IF, Rico MR, Alcaniz M, Barat JM (2013) Differentiation between fresh and frozen-thawed sea bream (*Sparus aurata*) using impedance spectroscopy techniques. *Inno. Food Sci. Emerg. Tech.*, **19**, 210-217.
- Geddes LA, Baker LE. (1967) The specific resistance of biological material—A compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *Med. Biol. Engng.*, **5**, 271-293.
- 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. 千葉水総研報, **5**, 25-30.
- 飯沼紀雄 (2014) 伊豆東岸沖で漁獲されたキンメダイの脂肪含有率の特性. 静岡水技研報, **47**, 23-25.
- 五十嵐千代 (2008) 職域における生体インピーダンス法による内臓脂肪面積測定の有用性の検討. 順天堂医学, **54**, 208-213.
- 池田文雄 (1987) 東京湾におけるカタクチイワシの粗脂肪量と体長・肥満度との関係. 神水試研報, **8**, 27-30.
- 五十川章子・山田耕作・森岡克司 (2008) 清水さばの脂肪含量と生態形質の季節変動一句の解明の一考察一. 日水誌, **72**, 207-212.
- 角 勇悦・白坂孝朗・松原 久 (2013) 八戸港に水揚げされるマサバとゴマサバの粗脂肪含有率等について. 青森産技食総研報, **3**, 1-8.
- 金井 寛 (1975) 生体物性 (2) —電気特性. 医用電子と生体工学, **13**, 49-57.
- 加藤宏郎・坂口守彦・大井康之・丸尾 信・豊田 薫 (2000a) 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.
- 加藤宏郎・坂口守彦・大井康之・丸尾 信・豊田 薫 (2000b) インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定 (第2報) —高周波域の鮮度指標の変化と氷蔵時間の推定—. 農業機械学会誌, **62**, 59-69.
- Kent M. (1990) Hand-held instrument for fat/water determination in whole fish. *Food Cont.*, **1**, 47-53.
- 金 明哲 (2007) 線形回帰分析, 「Rによるデータサイエンス」, 森北出版株式会社, 東京. p. 134-147.
- 清川智之・井岡 久 (2007) ポータブル型近赤外分光分析装置によるマジ, アカムツ脂質含有量の非破壊測定とその活用事例. 鳥根水技セ研報, **1**, 11-17.
- 小林正三 (1996) 常磐・房総海域で漁獲されたマイワシの粗脂肪量の季節変動. 千葉水試研報, **54**, 47-51.
- 小林正三 (2003) 海産5魚種における比重と脂質含量の関係. 千葉水試研報, **2**, 47-50.
- 小林正三 (2015) はんぺん加工に用いるヨシキリザメの品質評価方法. 千葉水総研報, **9**, 1-7.
- Komprda T, Zelenka J, Fajmonova E, Bakaj P, Pechova P. (2003) Cholesterol content in meat of some poultry and fish species as influenced by live weight and total lipid content. *J. Agric. Food Chem.*, **51**, 7692-7697.
- 小山智行・小林正三・瀧口明秀 (2014) 電気抵抗値による魚肉脂質含量の推定精度に関する要因の解明. 千葉水総研報, **8**, 21-26.
- Lee MH, Cavinato AG, Mayes DM, Rasco BA. (1992) Noninvasive short-wavelength near-infrared spectroscopic method to estimate the crude lipid content in the muscle of intact Rainbow trout. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 2176-2181.
- Luis OJ, Passos AM. (1995) Seasonal changes in lipid content and composition of the polychaete *Nereis (Hediste) diversicolor*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **111**, 579-586.
- 中澤裕之・堀江正一・井部明広 (2013) 脂質. 「食品分析」(日本分析化学会), 共立出版, 東京. p. 21-25.
- Ramesh R, Pal AK, Chakraborty SK, Venkateshwarlu G. (2013) Variation in total lipid content and fatty acid composition in the muscle of Bombayduck *Harpodon nehereus* (Hamilton, 1922) with respect to size and season. *Ind. J. Fish.*, **60**, 111-116.
- Rasoarahona JRE, Barnathan G, Bianchini JP, Gaydou EM. (2005) Influence of season on the lipid content and fatty acid profiles of three tilapia species (*Oreochromis niloticus*, *O. macrochir* and *Tilapia rendalli*) from Madagascar. *Food Chem.*, **91**, 683-694.
- Stolarski JT, Margraf FJ, Carlson JG, Sutton TM. (2014) Lipid and moisture content modeling of amphidromous Dolly Varden using bioelectrical impedance analysis. *N. Am. J. Fish. Manage.*, **34**, 471-481.
- Vidacek S, Medic H, Petrak KB, Nazak JK, Petrak T (2008) Bioelectrical impedance analysis of frozen sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *J. Food Engng.*, **88**, 263-271.
- 山本貴志子・西亀正之 (2000) 多周波数インピーダンス法による日本人の身体組成評価—体脂肪と体水分の年代比較—. 広島大学医学雑誌, **48**, 259-266.
- 大和製衡株式会社 (2016) Fish Analyzer Ver.2.00 技術資料. [http://www.yamato-scale.co.jp/upload/files/Fish%20Analyzer%20Ver.2.00%20技術資料\(改訂第1版\).pdf](http://www.yamato-scale.co.jp/upload/files/Fish%20Analyzer%20Ver.2.00%20技術資料(改訂第1版).pdf), 2016年10月12日(閲覧日).
- 山内 悟・澤田敏雄・河野澄夫 (1999) インタクルランス方式の光ファイバーを用いた近赤外分光法による冷凍カツオ粗脂肪量の非破壊測定. 日水誌, **65**, 747-752.
- 吉田光雄 (1987) 重回帰分析における多重共線性とRidge回帰について. 大阪大学人間科学部紀要, **13**, 227-242.