

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

久保久美子, 古賀恵実, 松本欣弘, 桑原浩一

Possibility of nondestructive determination of fat content in cultured Bluefin tuna by Simple measuring instrument

KUMIKO KUBO^{*1}, MEGUMI KOGA, YOSHIHIRO MATSUMOTO AND KOICHI KUWAHARA

長崎県のクロマグロ養殖においては、平成20年3月に長崎県マグロ養殖振興プランを策定し、年間生産量を500 tから2,000 tへ増産することを目標に掲げ、平成23年には、2,500 t(生産額; 約73億円)へと増加した。しかしながら、太平洋クロマグロ資源は減少しており(<http://kokushi.job.affrc.go.jp/>)、平成24年10月には、漁業法に基づき、未成魚の漁獲の増加につながるような養殖用生簀の拡大等を行わないよう農林水産大臣の指示が発出されたため、これまでのような量を拡大する方策から質への転換が緊急の課題となった。¹⁾

マグロの質においては、色および脂の乗りが重要視されているが、脂の乗り、つまり粗脂肪を化学分析するためには、前処理として試料の細断や均一化が必要であるとともに、サンプルから脂肪を抽出するために有機溶媒を使用することや抽出に時間がかかるなど、現場で簡便にかつ迅速に測定することはできない。

このため、非破壊で脂肪量を簡易に推定できるとされている測定器を用いて養殖クロマグロの脂肪量推定が可能であるか検討した。また、官能検査結果と脂肪量との関係を調査したので、併せて報告する。

材料および方法

供試魚 長崎県内で養殖され2013年6月17日(3尾; 平均体重12.0±1.8 kg)、8月19日(5

尾: 平均体重42.4±3.8 kg, 9尾; 平均体重15.1±4.0 kg)、10月7日(5尾; 平均体重43.2±9.5 kg)に取上げたクロマグロ *Thunnus orientalis* を用いた。

また、簡易測定器の一つであるポータブル式近赤外線分光光度計 FQA-NIRGUN(果実非破壊品質研究所製、以下NIR)を用いた脂肪量推定を行うにあたって、検量線を作成するためには、2013年1月11日に開催された「旨い本マグロまつり」刺身品評会(以下、刺身品評会)に出展された養殖クロマグロ(8尾; 平均体重53.8±16.6 kg)および県内で養殖され2013年2月4日に取上げたクロマグロ(6尾; 平均体重21.4±5.4 kg)を用いた。

官能検査には、刺身品評会に出展されたクロマグロ9尾(平均体重54.1±15.6 kg)を用いた。

簡易測定器による測定 非破壊で簡易に脂肪量推定を行える測定器として、ファットメーターFM-992(トリー社製、以下FM)、図1に示したインピーダンス測定器(大和製衡株式会社製試作機、以下IMP)およびNIRを用いた。IMPは一度に100 kHz, 50 kHz, 20 kHz, 5 kHz, 2 kHzにおけるインピーダンス値を測定することができる。FMおよびIMPによる測定は、取上げ後、海水氷で一晩冷やし込んだ翌朝に養殖漁場近くの作業場で行った。測定部位は図1に示す背側の魚体中央(以下、背)、腹側の魚体中央(以下、腹)、腹側の尻鰭より後端部分(以

下、臀)の3部位とした。²⁾ FMは数値が安定した時点で数値を読み取り、IMPは各周波数で5回測定した。作業場で測定後、供試魚は加工場でロインに処理し、左半身を氷蔵で実験室に搬送し、粗脂肪分析に用いた。また、加工場で切り落とした尾部もロインとともに搬送し、NIRを用いて木宮ら³⁾が提唱した尾部分かれ身のスペクトルを各3回測定した。

粗脂肪分析 簡易測定後、部位毎に9箇所(背側5箇所、腹側4箇所)または3箇所(背、腹、臀)および尾部分かれ身を切り分けた。分かれ身以外は200g程度になるように輪切りとした。また、背と腹の一部についてはさらに細かく区分した。すなわち、背は皮側と中心部側に2分割し、腹は中心側から腹縁にかけて4分割とした。サンプルはミキサーで均一にし、測定に供するまで -70°C で保管した。粗脂肪分析はソックスレー抽出法により行った。

簡易測定器による粗脂肪推定 FMはマグロ用検量線が内蔵されているため、表示される値を推定値として用いた。IMPは5回測定の平均値と実測値を重回帰分析(変数増加法、 F 値2以上)し、求めた検量線を用いて、推定値を算

出した。NIRの検量線は清川と井岡の方法⁴⁾に準じて、2013年1月および2月のクロマグロ14尾(最小12.1kg、最大86.2kg、平均体重 36.6 ± 20.3 kg)を用いて作成した。検定には2013年6月17日(3尾)、8月19日(9尾)、10月7日(5尾)の17尾(平均体重 29.6 ± 15.4 kg)を用いた。

官能検査および粗脂肪分析用試料 刺身品評会で、専門審査員および一般審査員による評価(外観審査および試食審査)が行われた。専門審査員は、マグロに関係するさまざまな分野の専門家5名、一般審査員は県内より公募で選ばれた10名とした。外観審査は腹側の頭部側(腹筋カミ)のブロックにより行われ、後日、この部位を粗脂肪分析に用いた。試食審査は部位毎(赤身、中トロ、大トロ)に刺身および寿司として提供され、専門審査では、部位毎に味に関する評価(各5点)を行い、一般審査では部位毎に評価せず、食べて感じた総合評価として5段階で評価した。

統計処理 統計処理はエクセル統計(柳井)⁵⁾を用いて、ピアソンの相関係数の検定を行った。危険率5%および0.1%で有意差を判定した。

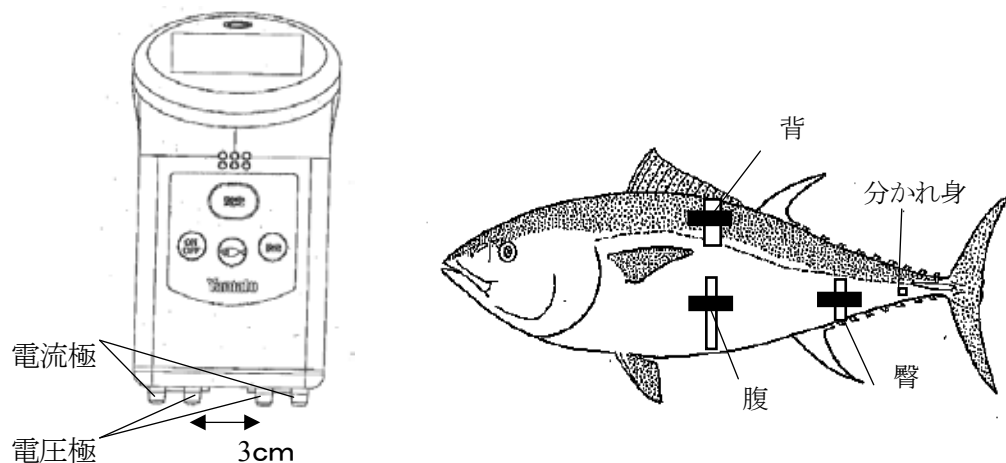


図1 インピーダンス測定器(試作機、左)および養殖クロマグロの測定部位(右)
 ■ ; 簡易測定部位, □ ; 粗脂肪分析部位

結 果

粗脂肪分布 部位別脂肪量の結果を図2に示した。腹腔部分を除く部分の粗脂肪量に差は見られなかった。しかしながら、背においても、粗脂肪分布は一様でなく、脂肪量は皮側が高く、中心部が低い値であった。また、腹側腹腔部分の脂肪量は高いものの、腹中心部は背中心部同様に低く、腹鰭に向かうほど高い値を示した。分かれ身の脂肪量は腹腔部以外の部位と同程度の値であった。

簡易測定器による粗脂肪推定 背, 腹, 臀の各部位における FM および IMP による推定値および実測値の結果を図3に示した。FM による脂肪量推定の部位は臀が最も高く相関係数 $r=0.958$ ($p<0.001$) であったが、実測値よりも

推定値は高い値を示した。また、IMP による推定も臀が最も高い相関係数 $r=0.982$ ($p<0.001$) を示した。

NIR の検量線作成は1波長 (916 nm) のみを用いた単回帰直線が最も SEP (検定試料の標準誤差) が小さい値となった (表 1)。そこで、1波長のみで作成した検量線を用いて検定用試料の脂肪量推定値と実測値の関係を図4に示した。NIR による分かれ身の推定値と実測値も有意な相関が示された ($r=0.971$; $p<0.001$)。また、

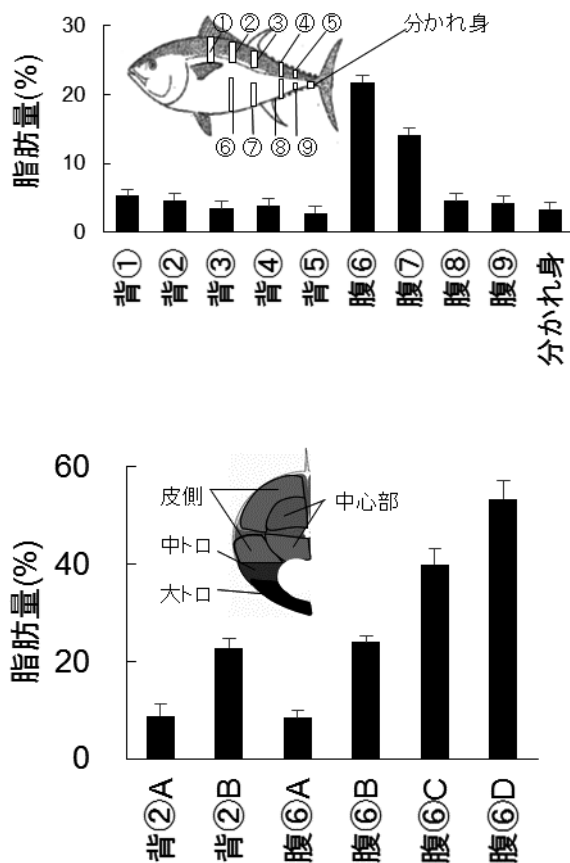


図2 養殖クロマグロの部位別脂肪量
上; 6月17日採取, $n=3$,
下; 8月18日採取, $n=5$
A; 中心部, B; 皮側,
C; 中トロ, D; 大トロ

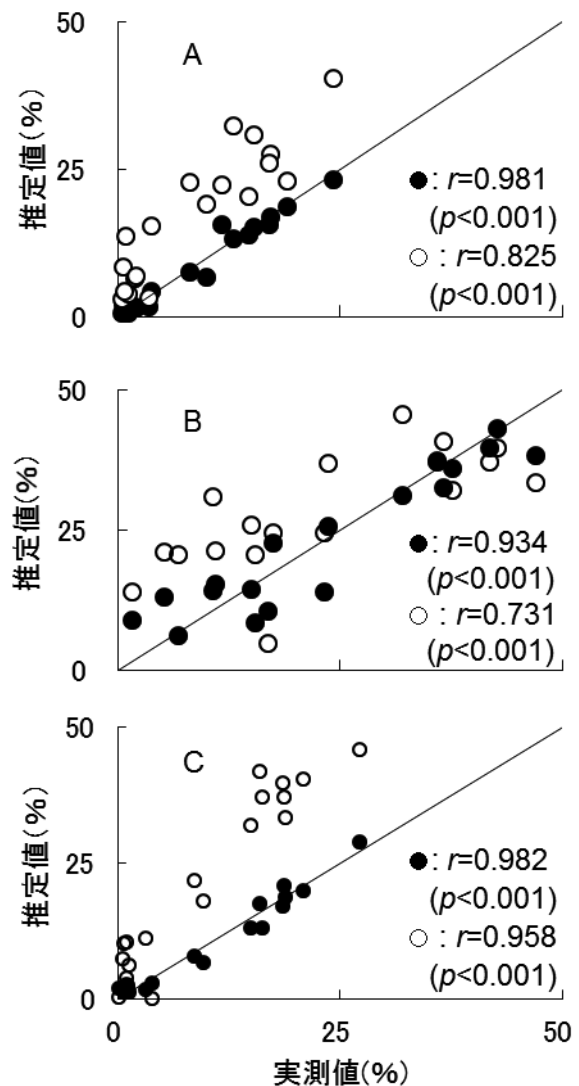


図3 簡易測定器による部位別の脂肪量推定値と実測値の関係
A; 背, B; 腹, C; 臀, ●インピーダンス, ○; ファットメーター

表 1 養殖クロマグロ脂肪量推定検量線作成および検定結果

採用波長 (nm)					検量線作成	SEC*1	SEP*2	Bias*3	RPD*4
λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	相関係数	(%)	(%)	(%)	
916					0.93	2.82	1.46	1.97	3.61
840	916				0.93	2.78	1.96	3.62	2.68
724	916	944			0.94	2.58	2.33	1.55	2.26
716	788	808	916		0.95	2.51	2.20	-0.70	2.39
720	788	808	916	944	0.95	2.42	2.67	-0.10	1.97

*1 検量線作成時の標準誤差

*2 線検定時の標準誤差

*3 検量線検定時の推定誤差の平均値

*4 検量線検定用試料の対象成分値の標準誤差 (SEC) に対する比率

RPD (検量線検定用試料の対象成分値の標準偏差に対する検定時の標準誤差の比率; Ratio of standard error of Performance to Standard deviation) は 3.61 であった (表 1)。

各部位における脂肪量の関係 各部位間の脂肪量の関係を図 5 に示した。臀は背および腹、分かれ身は背、腹、臀とそれぞれに有意な相関が認められた ($p < 0.001$)。

官能検査と脂肪量との関係 専門審査による部位毎の評価と脂肪量の関係、および一般審査による評価と脂肪量の関係を図 6 に示した。

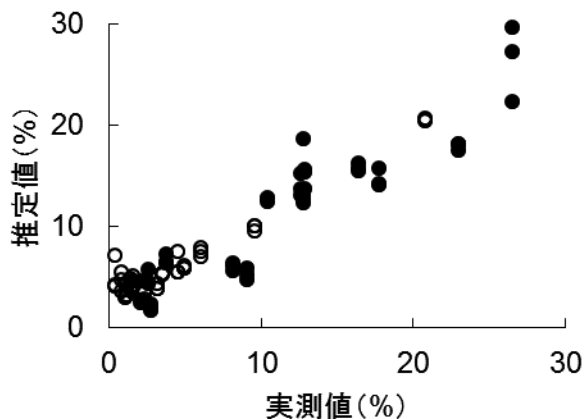


図 4 近赤外分光光度計による分かれ身の脂肪量推定値と実測値の関係

● ; 検量線作成, ○ ; 検定

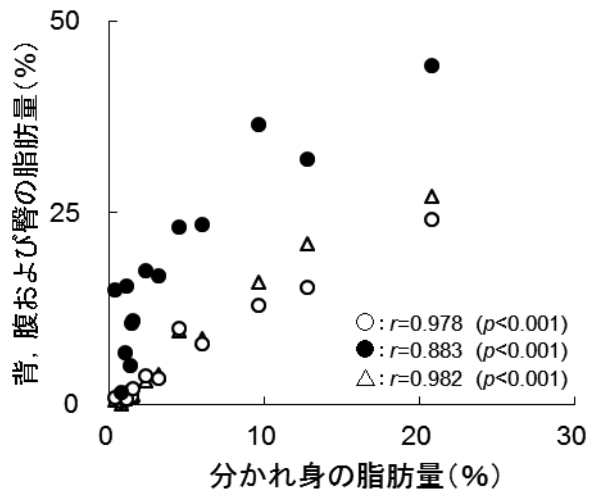
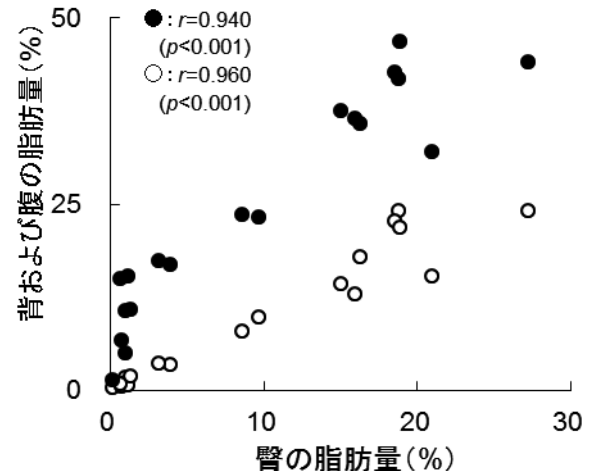


図 5 臀および分かれ身の脂肪量と背、腹および臀の脂肪量との関係

○ ; 背, ● ; 腹, △ ; 臀

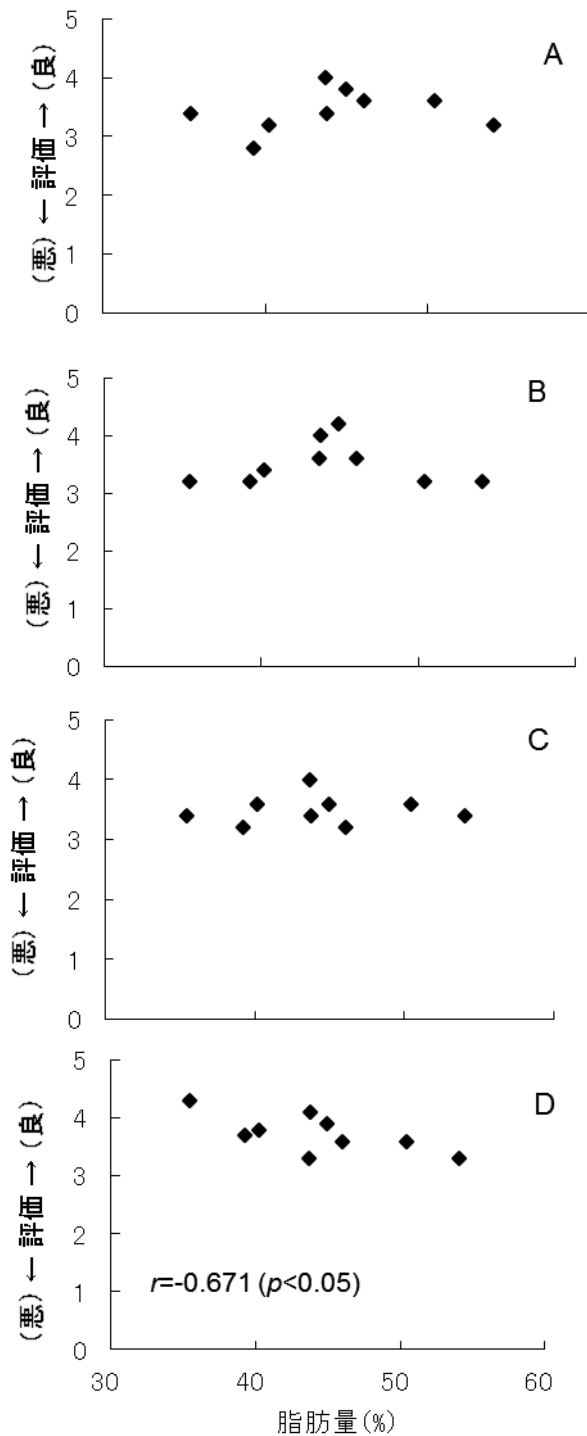


図6 官能検査と養殖クロマグロの脂肪量との関係
 A; 専門審査 (赤身), B; 専門審査 (中トロ), C; 専門審査 (大トロ), D; 一般審査 (総合評価)

専門審査における赤身と大トロでは、脂肪量と味との関係は認められなかったが、中トロでは45%付近が高く評価されていた。また、一般審査では、脂肪量が少ないほど評価は高かった ($r=-0.671$; $p<0.05$)。

考 察

FM および IMP で背, 腹, 臀の部位を測定し, 脂肪量の推定を行ったが, 実測値との相関は臀, 背, 腹の順に高かった。腹の脂肪量を推定することが難しいのは, 図2に示したように部位で脂肪量が異なること, また内臓脂肪も影響しているためと考えられる。背と臀では部位が異なっても脂肪量にあまり差はないが, 体表から中心部にかけての距離に違いがあり, 背は臀より厚みがあった。カツオやビンナガでは, 体表から NIR による測定で脂肪量推定が行われている。NIR が測定する範囲は深さ数 mm 程度であり, カツオは体表近くに脂が乗るので, 脂肪量推定が可能であるが, ビンナガは比較的 center 部でも脂肪量が高いため, 脂肪量推定は困難と報告されている。^{6,7)} IMP が測定する範囲 (電流の流れる深さ) は電圧極の幅に影響を受け, 今回の試作機 (図1) の電圧極間は 3 cm であり, 体表から深さ 3 cm 程度を測定していると考えられる。このため, center 部に近い位置まで測定できる臀が測定部位として最も適していると推察している。なお, 今回の試験では, 簡易測定するまでの時間を統一しているが, IMP による測定値は取り上げからの経過時間などに影響を受けるため,⁸⁾ 今後, 取り上げからの経過時間とインピーダンス値の変化を明らかにしていく必要がある。

NIR (近赤外分光法) は, 各種食品成分の官能基により吸収されるエネルギーの差を利用した測定方法であり, 魚油では 926 nm に強い吸収が確認されている。^{6,9)} 今回使用した解析ソフト (Ca-Maker) では波長を自由に選択することはできないが, 採用された波長は 916 nm であった。これは, 油脂の官能基である CH の

3倍音に帰属する⁹⁾ものと推察される。ビンナガでは、体表からの測定では困難と報告されている⁷⁾が、切断面から分かれ身を測定することで、非常に高い精度で推定することができる。分かれ身以外の部位を測定する場合は、皮側と中心部で脂肪量は違うが、分かれ身は小さな面積にその両方の情報が読み取れる部位と言える。築地の仲買は経験的に分かれ身を参考にマグロを評価しているが、このことは非常に理にかなったことであるとする。また、検定の結果 RPD は 3.61 であったが、2.5-3.0 の場合の検量線は大まかなスクリーニングに適しており、3.0 以上 5.0 未満は満足なスクリーニングが可能とされ、5.0 以上では、品質管理用の分析に適している^{10,11)}とされている。このため、作成した検量線は、満足なスクリーニングが可能レベルにあると考える。

また、分かれ身と背、腹および臀の粗脂肪の関係を確かしているが、それぞれの部位間に有意な相関が確認された。このため、分かれ身の脂肪量を推定することで全体を評価することの妥当性が認められたと考える。同様に、臀に対し背および腹にも相関が認められ、FM および IMP を用いて臀の脂肪量を推定することで全体を評価することも可能と考えている。

刺身品評会における専門審査は、赤身や大トロでは味と粗脂肪の関りに相関は見られなかったものの、中トロにおいては、今回出品された養殖クロマグロの平均付近(45%)が高く評価されていた。また、一般審査では、脂肪量が少ない養殖クロマグロが高く評価されていた。五訂日本食品標準成分表¹²⁾においては、クロマグロ赤身および脂身の粗脂肪量はそれぞれ 1.4 および 27.5% となっている。刺身品評会に出品された養殖クロマグロの脂肪量は多く、脂肪量が少ないものは評価されていない。最も評価される脂肪量を今回の結果から推定することはできないが、脂肪量は質の評価に影響を与えていると予想される。このため、養殖クロマグロの質を向上させるために、脂肪量を推定する事

は大きな意義があると考えている。

今回の結果から、簡易測定器を用いて特定部位の脂肪量を推定することが可能と考えられた。また、各部位間の脂肪量は相関が見られたことから、一部を簡易測定器で推定することにより全体の脂肪量を概ね知ることができると考える。よって、簡易測定器を用いて養殖クロマグロの脂肪量を把握し、消費者ニーズに応える脂肪量にコントロールすることで、付加価値向上が期待できる。

謝 辞

本研究における試料の入手にご協力をいただいた金子産業株式会社養殖生産グループリーダー三宅利宗氏に深く感謝いたします。また、簡易測定器の使用に技術指導いただいた中央水産研究所木宮隆主任研究員、大和製衡株式会社岡部修一主任、本研究をまとめるにあたり、ご意見、ご助言を賜った長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科長橘勝康教授に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 「平成 24 年度水産白書」(水産庁編)、農林統計協会、東京、2012、7。
- 2) 「日本産魚類検索」(中坊徹次編)、東海大学出版会、東京、1993、1146。
- 3) 木宮隆、澤田克彦、横田耕介、上原崇敬、今村伸太郎、鈴木道子、木村メイコ、大島達樹、伏島一平、大村裕治、金庭正樹。近赤外分光法による凍結マグロの脂肪含量船上迅速推定技術の開発。利用加工技術部会研究会 2012;10-11。
- 4) 柳井久江。「4Steps エクセル統計(第 3 版)」、オーエムエス出版、埼玉、2011、186-196。
- 5) 清川智之、井岡久。ポータブル型近赤外分光分析装置によるマアジ、アカムツ脂質含有量の非破壊測定とその活用事例。島根県水産技術センター研究報告 2007 ; 11-17。
- 6) 山内悟、澤田敏雄、河野澄夫。インタラク

- タ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 1999 ; 65 : 747-752.
- 7) 寫本淳司, 長谷川薫, 藤井大樹, 河野澄夫. ビンナガの脂肪分布と近赤外分光法による脂肪含量の非破壊測定. 日水誌 2000 ; 66 : 1059-1065.
- 8) 坂口守彦, 高橋繁, 加藤宏郎. 電氣的センサ. 「水産学シリーズ 106 魚介類の鮮度判定と品質保持」(渡邊悦生編) 恒星社厚生閣, 東京. 1995. 92-101.
- 9) 寫本淳司, 長谷川薫, 井出圭, 河野澄夫. 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 2001 ; 67 : 717-722.
- 10) 山内悟, 寫本淳司. 近赤外分光法による脂肪含量の非破壊評価. 「水産学シリーズ 141 水産物の品質・鮮度とその高度保持技術」(中添純一, 山中英明編) 恒星社厚生閣, 東京. 2004. 92-101.
- 11) William P. 第 12 回非破壊計測シンポジウム講演要旨 日本食品科学工学会 1996 ; 1-15
- 12) 「五訂日本食品標準成分表」(科学技術庁資源調査会編), 大蔵省印刷局, 東京, 2000, 192.