

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

鳶本 淳司, 長谷川 薫, 藤井 大樹, 河野 澄夫

(2000年2月8日受付, 2000年7月5日受理)

Fat Distribution in Albacore and Nondestructive Determination of the Fat Content by Near Infrared (NIR) Spectroscopy

Junji Shimamoto,^{*1} Kaoru Hasegawa,^{*1}
Hiroki Fujii,^{*2} and Sumio Kawano^{*3}

Measurement of fat distribution in albacore by a conventional method and nondestructive determination of fat content in the whole body of albacore by near infrared (NIR) spectroscopy were performed. Fat content of the central portion of the body was well correlated with that of the whole body. As a result of multiple linear regression based on 2nd derivative spectra of the central portion of the body and fat content in the whole body, a good calibration equation having $d^2 \log (1/R)$ at fat band of 926 nm as the first variable was obtained. The RPD* value was 2.2. It was concluded that NIR spectroscopy enables determining the fat content of the whole body of albacore by measuring the NIR spectra of the central portion of the body with an interactance probe.

* RPD is the ratio of standard deviation of reference data in prediction set to SEP.

キーワード: 脂肪量, 脂肪分布, 近赤外分光法, ビンナガ, 非破壊測定

ビンナガ (*Thunnus alalunga*) は, マグロ類の中では全国でメバチ, キハダに続いて多く水揚げされている。ビンナガは, 主にホワイトミートとして缶詰の原料として利用されてきたが, 近年不漁が続いているミナミマグロ, メバチの代用として, 脂肪が乗ったものは刺身やすし種などいわゆる生食用として需要が増えてきている。また, この他生利節, 調味加工品などにも利用されている。

現在, 市場では冷凍ビンナガの脂肪の多寡の判断は, 漁場の情報やナイフなどで突き刺す方法により行われている。しかし, カツオのように肉色が赤くないため, 熟練した人でも脂肪の乗り具合を推定するのは難しく, ビンナガの脂肪含量を非破壊で迅速に測定する方法の開発が望まれている。

前報¹⁾において, 近赤外分光法によるラウンドの冷凍カツオの脂肪量測定について報告し, インタラクタンス方式の光ファイバプローブの有効性及び試料の解凍がその測定精度に及ぼす影響について示した。しかし, 近赤外分光法の魚への応用を将来カツオより大型のマグロ

類へ展開するためには, 魚体の脂肪分布を調べ, 近赤外線を照射する適正な測定部位の検討を行う必要がある。

そこで, 本研究ではカツオより大型のビンナガについて, 脂肪分布, 測定部位の近赤外分光法の測定精度に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

材料 静岡県焼津漁港に水揚げされた船内凍結魚のうち, さまざまな脂肪含量のビンナガを用いた。

脂肪分布測定の供試魚には, 焼津魚市場の仲買人がトロ (脂肪含量の高いもの), 中トロ (中程度の脂肪含量のもの), 脂肪なし (脂肪含量の低いもの) と判断したものをそれぞれ5尾ずつ使用した (Table 1)。

スペクトル測定には, 脂肪含量が異なり, 体重 1.8~9.3 kg, 尾叉長 45~80 cm の魚 110 尾を使用した (Table 2)。供試魚は, スペクトル測定まで冷凍庫 (-45°C) に保管した。また, スペクトル測定後, 110 個体については, Fig. 1 に示したように左半身の B1⑤, C④, C⑤の3つの部位を, 94 個体については右半身全

^{*1} 静岡県水産試験場 (Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station, Yaizu, Shizuoka 425-0033, Japan).

^{*2} 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizu, Shizuoka 424-0902, Japan).

^{*3} 農林水産省食品総合研究所 (National Food Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan).

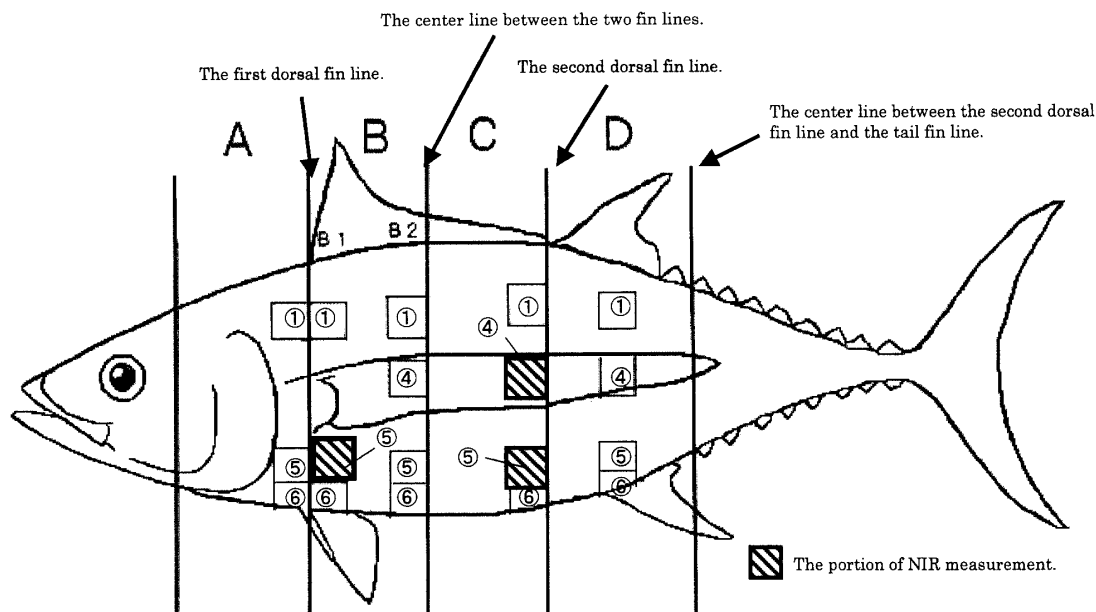


Fig. 1. The sampling portions for the measurement of the distribution.

Table 1. The length and weight of 'non-fat', 'semi-fat', and 'fat' albacore

The degree of fat ^{*1}	n ^{*2}	fork length (average) cm	weight (average) kg
non-fat	5	65~69 (67.0)	5.1~5.6 (5.4)
semi-fat	5	58~66 (61.2)	4.0~5.9 (4.8)
fat	5	58~68 (60.5)	4.2~6.2 (4.7)

^{*1} ranking by broker's estimation

^{*2} n: the number of samples used.

Table 2. The length and weight of albacore in calibration and prediction sets

sample set	n [*]	fork length (average) cm	weight (average) kg
calibration	55	51~80 (62.0)	2.6~9.2 (5.2)
prediction	55	45~79 (61.1)	1.8~9.3 (5.0)
	110	45~80 (61.6)	1.8~9.3 (5.1)

* n: the number of samples used.

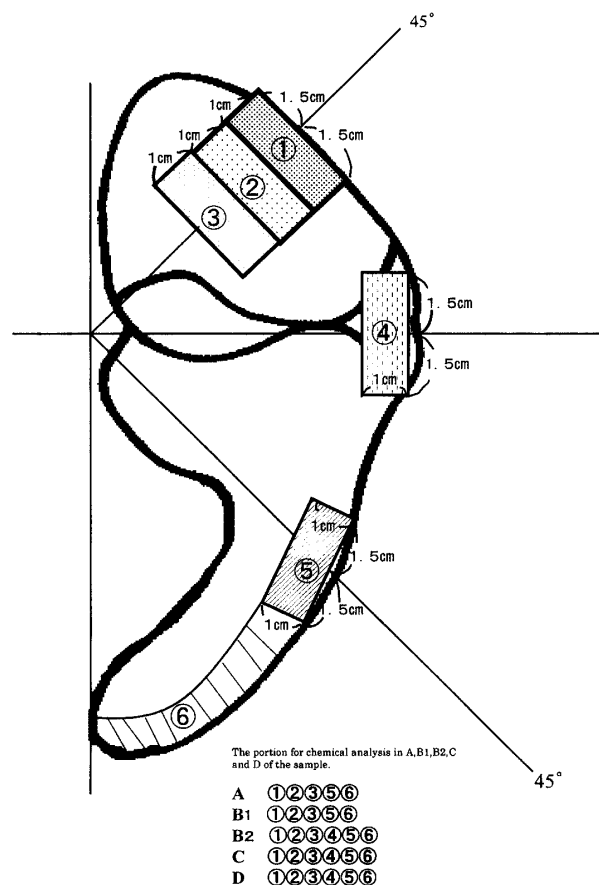


Fig. 2. The sampling portions in the cross section of the sample for the measurement of fat distribution.

体を化学分析に供した。

魚油の吸収バンド測定には、魚肉から Hanson and Olley の方法²⁾に準じて抽出したものを使用した。

脂肪分布測定 Fig. 1 および Fig. 2 に示すようにビ

ンナガの左半身の色々な部位をサンプリングし、化学分析に供した。①～⑥の試料サイズは 30 mm × 30 mm ×

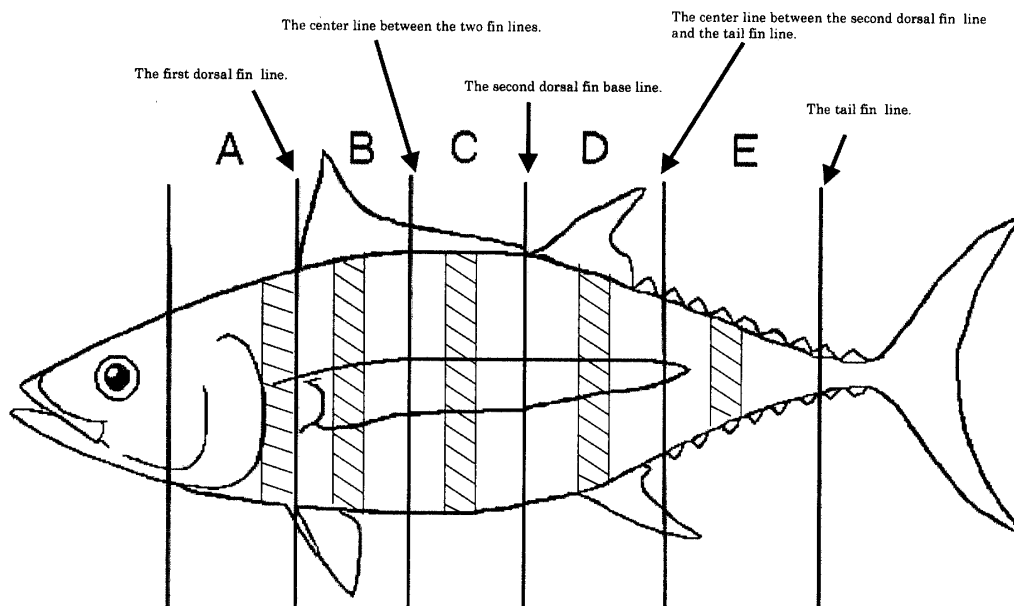


Fig. 3. The sampling portions for measuring the fat content of the whole body. Each portion (shaded) occupies about 20% in weight of each block.

厚さ 10 mm とし、⑥については一辺の長さを魚体を左右に分けた時の切断面までとした。ただし、①④⑤⑥の試料の皮の部分は除去した。A の④および B1 の④に相当する部位は皮下の部分に非常に硬い組織があり、試料採取が困難であったため、試料から除外した。

魚体全体脂肪含量 全体脂肪含量は Fig. 3 に示したようにビンナガの右半身を A, B, C, D, E の 5 つに分け、内臓を除去したのちそれぞれの重さを測定し、各部位の中央部分 (A を除く) 約 20% を切り取り、各部位を集め試料とした。

脂肪量の化学分析 前述した化学分析用試料を用いてジエチルエーテルを溶媒とするソックスレー抽出法により行った。

スペクトル測定 近赤外スペクトル (400–1100 nm) の測定には市販の近赤外装置 (NIRSystems 社製, 6500 型) を用いた。スキャン回数は 25 回とし、リフレンスの測定は白色セラミックス板を用いて試料毎に行った。

(1) ラウンドの凍結魚のスペクトル 予め冷凍庫 (−45°C) に保管して魚体温度を庫内温度に一致させ、室温 (約 20°C) 下でそのスペクトル測定を行った。インタラクタンス方式の光ファイバプローブの先端部 (直径 25 mm) を魚体左 (Fig. 1 に示したように B1⑤, C④, C⑤の 3 つの部位) に密着させて、2 回スペクトルを測定した。プローブの先端部には、測定時に外光が入らないようにゴムカバー (直径 60 mm) を取り付け遮光した。

(2) 魚油のスペクトル 魚油の吸収バンドを明らかにするために、厚さ 10 mm のセルに魚油を満たし、予め冷凍庫で −45°C に冷却し、室温下でそのスペクトル測定を行った。測定は、セルとファイバプローブを接触させ、セルの反対側にセラミックス板を固定して、3 回測定を行い、その平均スペクトルを求めた。

スペクトルの解析 ラウンドの冷凍ビンナガの脂肪含量を測定するための検量線の開発は、測定装置に付属している解析用プログラム (NSAS) を用いて、2 次微分スペクトルを基にした重回帰分析により行った。なお、各部位のスペクトルと魚体全体の平均脂肪含量との解析では、検量線、評価用にそれぞれ 48, 46 個体を試料とした。第 1 波長の選択においては、①後述する相関スペクトルの下向きのピークを選択する、および②魚油の特性吸収波長を選択する、の 2 つの方法を採用した。第 2 波長以降は 700–1100 nm の範囲でコンピュータによる自動選択とした。

結果および考察

脂肪分布 脂肪分布の測定結果 (それぞれの平均値で表示) を Fig. 4 に示した。脂の少ない試料では、全体的に脂肪含量は低く、A, B1, B2 の⑤⑥の腹部を除いておよそ 2% 以下であった。B1 および B2 の⑤⑥の腹部では平均で 10% 以上であった。一方、トロには、A, B1, B2 の⑤⑥で 50% 以上の魚体もあり、腹部以外の部位でも 20% 以上の脂肪が測定された。また、中層、深層肉である②, ③の部位が A, B, C, D のどの部分も②

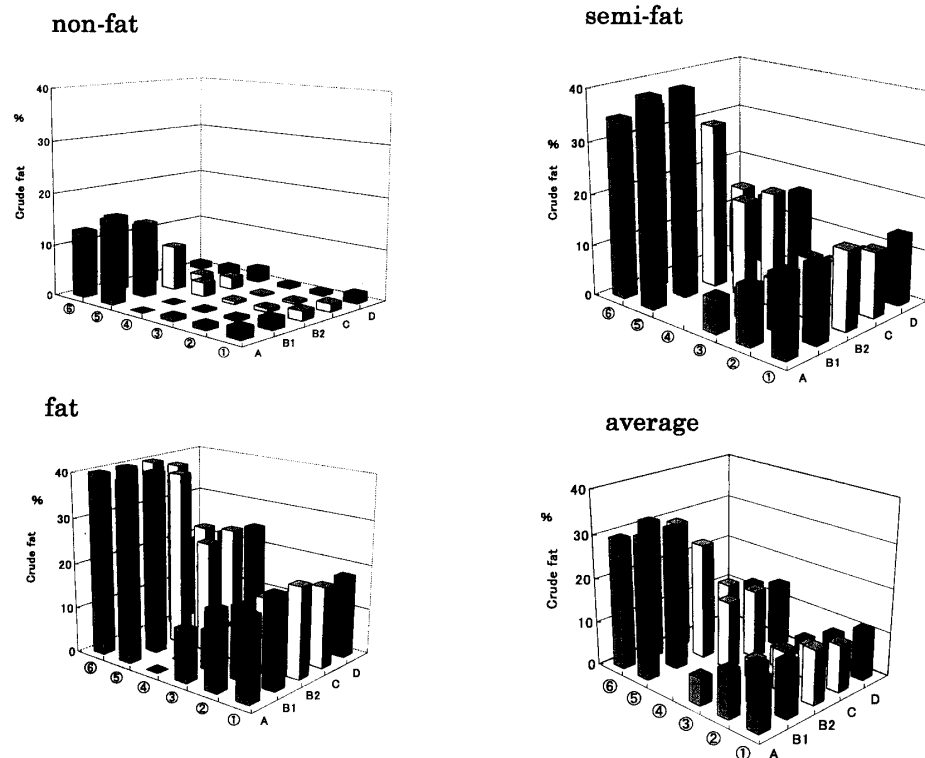


Fig. 4. The fat distribution in 'non-fat', 'semi-fat' and 'fat' albacore.

で14%以上(平均), ③で7%以上(平均)の脂肪含有量が確認された。中トロの脂肪分布はトロに比較して総体的に低いもののその分布にあまり差異はなかった。また, 脂肪なし, トロ, 中トロの15個体の脂肪分布の平均をみると, それぞれの脂肪分布傾向と大差なく, 腹部が一番高い値を示した。このことは, 脂肪の多いカツオにおいてC④に相当する部位の脂肪が最も高いとする報告³⁾と異なった。東沖カツオ(約5 kg)の分析例⁴⁾と比較すると, カツオでは①で20%程度のものが②で1%と魚皮から魚肉深部に向かって脂肪含量が急激に減少するのに対し, ビンナガ(トロで4.3 kgの魚体)では①で21%のものが②で19%であり, ビンナガではカツオより深くまで脂肪が乗っていることがことが分かった。

以上の結果から, 魚体における近赤外スペクトルの測定部位は, 常に脂肪含量の高いB1⑤, およびカツオ¹⁾との比較のための魚体側部のC④とその腹側のC⑤の計3か所とした。B1⑤, C④, C⑤の部位の選択においては, スペクトル測定の際, 胸鰭, 第2背鰭などの位置から, 比較的容易にプローブの位置決めができることも考慮に入れた。

魚体全体脂肪含量と各部位脂肪含量との相関 魚体全体脂肪含量と各部位の脂肪含量の相関をFig. 5に示した。ビンナガの魚体全体脂肪含量は, 0.4~24.5%, 平

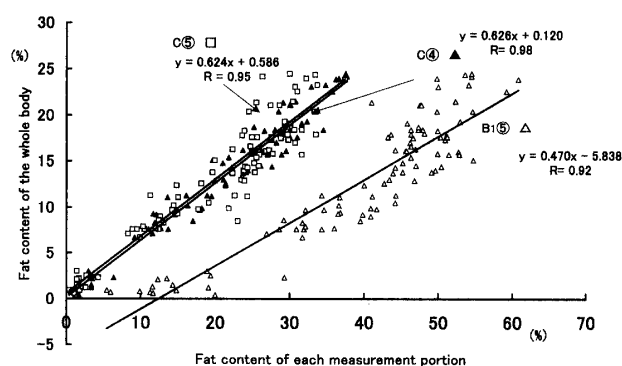


Fig. 5. Relations between the fat content of each measurement portion and the fat content of the whole body.

均12.9%であった。この値は, カツオの0.6~14.4%, 平均6.5%⁴⁾の値と比較するとかなり高く, ビンナガがカツオと比較して, 深層部まで脂肪が乗ることがこのデータから裏付けられた。図に示したようにC④, C⑤, B1⑤のそれぞれの相関係数は, $R=0.98$, $R=0.95$, $R=0.92$, 回帰式は $y=0.626x+0.120$, $y=0.624x+0.586$, $y=0.470x-5.838$ で, C④の相関が最も高く, 次にC⑤, B1⑤であった。

近赤外スペクトル 冷凍ビンナガ(B1⑤, C④, C⑤)と魚油の2次微分スペクトルをFig. 6に示した。魚油

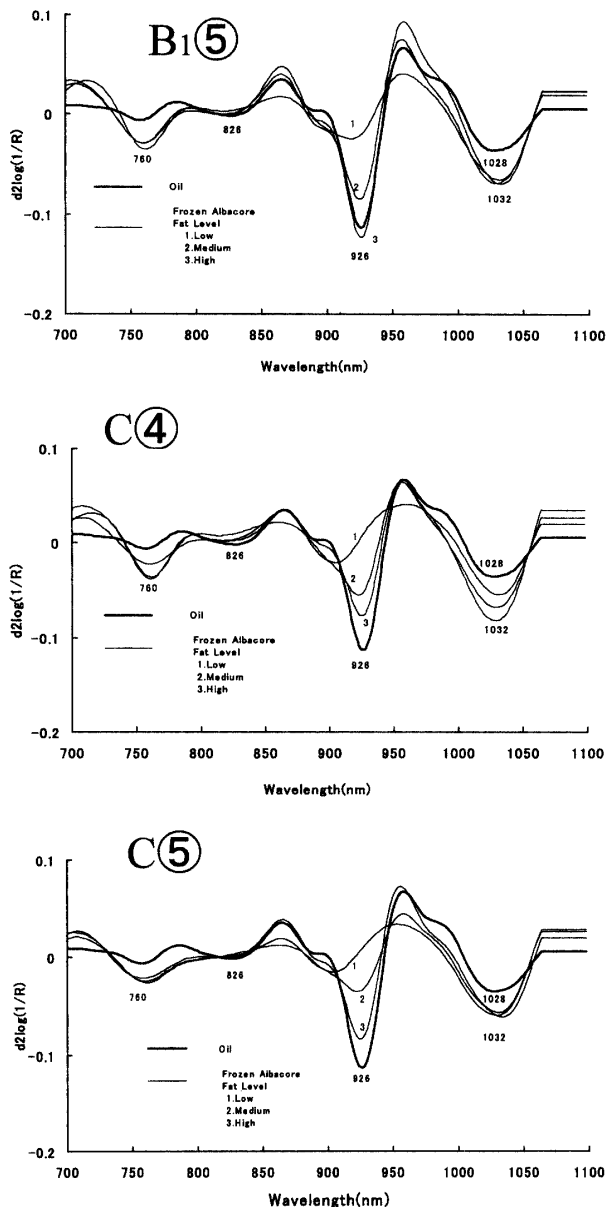


Fig. 6. Second derivative spectra of frozen albacore having low, medium and high contents of fat, and the oil extracted from albacore.

では 926 nm 及び 1028 nm に強い吸収が観察された。これらの波長のうち、926 nm は油脂の官能基である CH の 3 倍音に帰属するものと推察された。⁵⁾ 魚体のスペクトルでは、760 nm, 926 nm 及び 1032 nm 付近に主な吸収が観察された。758, 926, 1034 nm 付近に吸収がみられるカツオ¹⁾と比較すると、両者とも 926 nm 付近において最も強い吸収があることが分かった。

スペクトル測定した魚体各部位の脂肪含量 B1⑤, C④, C⑤の部位で、皮下から 10 mm までの脂肪含量を検量線作成試料と検量線評価試料別に Table 3 に示した。C④, C⑤の脂肪含量は 0.4~37.7%, B1⑤のそれは、5.5~60.8% であった。

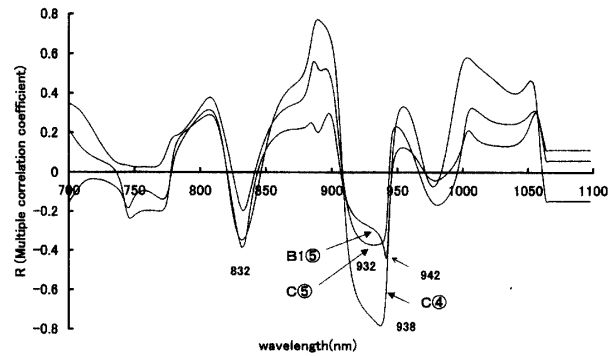


Fig. 7. The correlation spectrum when the first optical term was selected to make the calibration equation for determining the fat content in each measurement portion.

Table 3. The statistic data of calibration and prediction sample sets for determining fat content (%) in albacore

sample set	Measurement portion			
	B1⑤*	C④*	C⑤*	whole body
Calibration				
range	5.5 ~60.8	0.4 ~37.7	0.4 ~37.4	0.4 ~24.2
average	39.3	19.8	18.7	12.6
S.D.	13.0	10.5	10.4	7.0
Prediction				
range	6.0 ~59.2	0.6 ~37.5	1.0 ~33.4	0.6 ~24.5
average	39.6	20.0	19.7	13.1
S.D.	13.1	10.5	10.1	6.7

S.D.: standard deviation

* See Fig. 1 for the location of the measurement portions.

単相関スペクトル Table 2 に示した検量線作成用試料を用いて、2 次微分スペクトルデータと化学分析による粗脂肪との単相関係数を波長ごとに計算し、その相関スペクトルを Fig. 7 に示した。その結果、832 nm および 938 nm 付近で下向きの大きなピークが観察された。抽出油の 2 次微分スペクトルの負のピーク (Fig. 6) は 926 nm であり、相関スペクトルの 938 nm 近傍のピークとは異なった。そこで、脂肪含量用検量線の開発に当たり、第 1 波長を①相関スペクトルの負のピークを選択する方法、および②魚油の特性波長を選択する方法を採用した。なお、相関スペクトルの負のピークと魚油の特性吸収バンドが一致しなかった理由は不明である。

脂肪含量用検量線の作成と評価 2 次微分スペクトルと脂肪含量を基に重回帰分析を行い、その結果を

Table 4. Results of calibration and prediction for determining fat content in each measurement portion

measurement portion	wavelength selected (nm)				R^{*1}	SEC (%) ^{*2}	SEP (%) ^{*3}	Bias (%) ^{*4}	RPD ^{*5}
	$\lambda 1$	$\lambda 2$	$\lambda 3$	$\lambda 4$					
B1⑤	942C	1056	830	700	0.77	8.7	10.0	0.0	1.3
	926A	908	984	878	0.84	7.3	8.9	0.7	1.5
C④	938C	890	998	780	0.93	4.0	4.6	-0.3	2.3
	926A	896	776	1006	0.93	4.0	5.2	-0.8	2.0
C⑤	932C	902	1000	944	0.87	5.4	5.0	-0.9	2.0
	926A	904	1002	946	0.87	5.4	5.2	-1.2	1.9

*1 R : Multiple correlation coefficient.

*2 SEC: Standard error of calibration.

*3 SEP: Bias-corrected standard error of prediction.

*4 Bias: Mean difference between actual value and NIR predicted value.

*5 RPD: Ratio of standard deviation of reference data in prediction set to SEP.

C: Selected based on correlation spectrum.

A: Selected based on oil absorption band.

Table 5. Results of calibration and prediction for determining fat content in the whole body of albacore

measurement portion	wavelength selected (nm)				R^{*1}	SEC (%) ^{*2}	SEP (%) ^{*3}	Bias (%) ^{*4}	RPD ^{*5}
	$\lambda 1$	$\lambda 2$	$\lambda 3$	$\lambda 4$					
B1⑤	942C	1054	700	778	0.80	4.4	6.0	-0.6	1.1
	926A	960	910	1020	0.79	4.4	4.7	0.0	1.4
C④	938C	890	1000	830	0.93	2.7	3.0	-0.5	2.2
	926A	894	1002	942	0.93	2.7	3.1	-0.6	2.2
C⑤	932C	896	700	746	0.89	3.3	3.8	-0.1	1.8
	926A	896	700	746	0.88	3.4	3.8	0.0	1.8

*1 R : Multiple correlation coefficient.

*2 SEC: Standard error of calibration.

*3 SEP: Bias-corrected standard error of prediction.

*4 Bias: Mean difference between actual value and NIR predicted value.

*5 RPD: Ratio of standard deviation of reference data in prediction set to SEP.

C: Selected based on correlation spectrum.

A: Selected based on oil absorption band.

Table 4 および Table 5 に示した。Table 4 は各部位のスペクトルからスペクトルを測定した部位の脂肪含量を求める検量線の解析結果で、Table 5 は各部位のスペクトルから魚体全体の平均脂肪含量を求める検量線の解析結果である。表中の RPD は検量線の評価用試料の対象成分値の標準偏差の SEP に対する比であって、値が大きいほど測定精度の高いことを意味をする。この値は対象成分のレンジが異なる場合の測定精度を比較するとき便利である。通常、2.5~3.0 の値は粗選別に適している。^{*4}

各部位の脂肪含量を測定する場合、B1⑤の測定精度

が低いものの、C④では RPD の値が 2.0~2.3 と比較的良好な結果が得られた。C④においては、938 nm を第 1 波長とする検量線において最も良好な精度が得られた。この場合の測定精度は SEP で 4.6% であった。

全体の脂肪を測定する場合、各部位の場合と同様 C④で良好な結果が得られた。C④の 926 nm を第 1 波長とする検量線（以後検量線 A という）および 938 nm を第 1 波長とする検量線は、ほぼ同じ測定精度を有し、その値は SEP で 3.0~3.1% であった。各部位を測定する場合の結果から見て C④のスペクトルが安定していること、および前述したように C④の脂肪含量は全体脂肪

*4 Phil Williams: 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, p. 9 (1996).

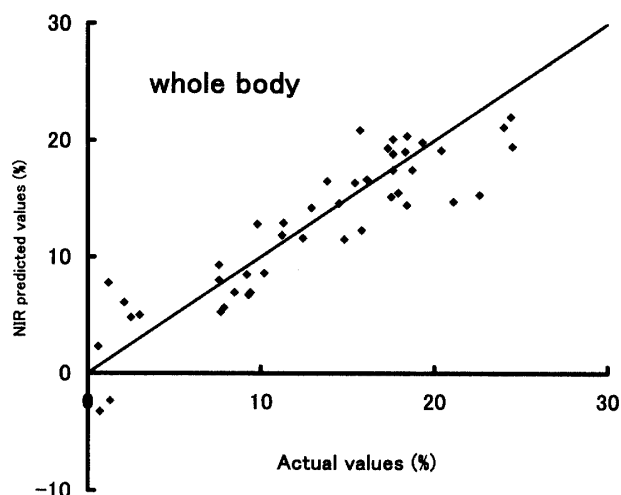


Fig. 8. Relations between NIR predicted values and actual values of the crude fat contents of albacore.

NIR measurements were done at C④ of the sample.

含量との相関が高いことがその要因と考えられる。

ビンナガの検量線解析結果とカツオのそれ¹⁾とを比較すると、脂肪含量の測定精度は、RPDとともに2.2となり同程度であった。

C④の検量線 A による脂肪含量と化学分析値の関係を

Fig. 8 に示した。t 検定の結果、バイアスおよびスキューとも有意差は認められなかった。

以上の結果から、ビンナガでは C④の位置の近赤外スペクトルを測定することにより魚体全体脂肪量を測定できることが確認され、この方法がビンナガの市場での迅速な脂肪含量の測定方法として展開する可能性が示唆された。

最後に、本研究を行うに当たり協力をいただいた静岡県水産試験場の諸氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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. 日本誌, 65, 747-752 (1999).
- 2) S. W. F. Hanson and J. Olley: Application of the Bligh and Dyer method of lipid extraction to tissue homogenates. *Biochem. J.*, 89, 101-102 (1963).
- 3) 高木 毅, 上村信夫, 寫本淳司, 山内 悟, 白澤壽昭, 片瀬紀子, 田中 昭, 高橋正憲: トロカツオの品質評価に関する研究. 静岡県水産試験場事業報告, 65-67 (1997).
- 4) 寫本淳司, 上村信夫, 澤田敏雄, 白澤壽昭, 細萱安彦, 片瀬紀子, 高橋正憲: トロカツオの判定について. 静岡県水産試験場事業報告, 印刷中 (1998).
- 5) B. G. Osborne, T. Fearn, and P. H. Hindle: *Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*, 1st ed., Longman Scientific and Technical, New York, 1983, pp. 29-33.