

写真画像解析による体長測定法の開発：ムシガレイ漁獲物の 銘柄別全長組成推定への応用

今井千文^{†1}, 宮崎義信¹, 時村宗春², 山本圭介³

Body Length Measurements Using a Photo Image Analyzing Technique: An Application for Estimating the Total Length Composition of Landed Spotted Sole

Chifumi IMAI^{†1}, Yoshinobu MIYAZAKI¹, Muneharu TOKIMURA² and Keisuke YAMAMOTO³

A method of measuring fish body lengths at a fish market was developed using a photo image analyzing technique. The method was used to obtain total length composition (commercial categories) of the spotted sole, *Eopsetta grigorjewi*, landed at the fish wholesale market in Shimonoseki, Yamaguchi Prefecture, Japan. The greatest advantage of the method was the freedom given from handling specimens, allowing quick and easy application under various circumstances. Fish total lengths could be measured with very high precision from photographs of individual fish placed on a flat surface. Because spotted sole was packed according to commercial size categories in separate styrofoam containers before landing, accurate total lengths could be obtained relative to the inner length of the container at the same level as that of the fish snout (TL_{ib}). Major errors in TL_{ib} arose from fish inclination (caudal fin tip generally located 0–5 cm higher than snout level) and the convex body shape. Fish inclination resulted in an overestimation of length and the convex body in an underestimation. Because these two factors showed a positive relationship, body convexity increasing with fish inclination, the two error factors essentially cancelled each other out, resulting in a minimal overall measurement error. Between 25% and 50% of fish in photographs of packed fish were entirely visible and able to be measured. No significant difference was found in mean lengths between measurements of visible fish only and all individuals in the container. Mean total length \overline{TL}_N (cm) for each commercial size category N (N: number of sole per container) was formulated by the allometric equation, $\overline{TL}_N = 55.9N^{-0.23}$.

Key words: *Eopsetta grigorjewi*, body length measurement, photo image analyzing technique, spotted sole

はじめに

漁獲物の体長組成は水産資源研究における最も重要な基本情報の1つである。近年多くの水揚げ市場において水揚げ伝票処理の電算化が進み、研究者は容易に漁獲物の銘柄組成を得られるようになってきている。したがって、銘柄毎の体長組成が得られれば、精度の高い漁獲物体長組成資料を得

ることができる。

従来は銘柄毎の体長組成を求めるために、各銘柄について、買い上げて測定する、または、調査員が市場において取引前の魚体を測定する方法が用いられていた。しかし、買い上げ測定法は多岐に亘る銘柄に対し、十分量の体長測定資料を得るためには多大な費用が必要となる。一方、市場での測定は市場担当者や漁業者の同意が前提となるが、多くの大規模水揚げ市場では氷蔵箱詰め状態で水揚げが行われ、魚体を取り出して測定すると鮮度の低下や箱詰め状態の劣化から価格落ちの原因と見られ、同意を得るのは非常に難しい。

そこで、著者らは市場漁獲物を箱詰め状態のまま写真撮影し、後にその画像から画像計測ソフトウェアを使用して体長を推定する方法を考案した。この方法を日本海西部で操業する2そう曳沖合底曳網漁業により漁獲されるムシガレイ *Eopsetta grigorjewi* に応用した結果、実用上問題のな

2004年1月29日受付、2004年12月7日受理

¹ 水産大学校

National Fisheries University, 2-7-1, Nagatahonmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan

² 瀬戸内海区水産研究所

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, 2-17-5, Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-0452, Japan

³ 西海区水産研究所

Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1551-8, Tairamachi, Nagasaki, Nagasaki 851-2213, Japan

[†] cimai@fish-u.ac.jp

い銘柄別体長組成資料が得られた。また、箱詰め状態の画像からの計測におけるいくつかの測定誤差要因について検討し、画像計測を応用する際の留意点を明らかにした。

材料と方法

調査対象としたのは山口県下関漁港に在籍する15ヶ統(2002年4月以後は13ヶ統)の2そう曳沖合底曳網漁船が水揚げするムシガレイである。ムシガレイは同市場では「みずかしい」の名称で扱われ、全長20~25 cmよりも小型の個体は木製のトロ箱に詰められた列の数である「段数」により、大型個体は同一規格(内寸53.7×31.0×12.3 cm)の発泡スチロール箱に並べた個体数である「入り数」により銘柄区分して水揚げされる(Fig. 1)。段数銘柄は1箱に多くの個体が収容できるように、それぞれの個体の有眼側と無眼側が接するように重ねてあるため、画像上で吻端と尾端の位置を確認しにくい(Fig. 1a)。一方、入り数銘柄は無眼側を上向きにして、体軸が箱の長辺と平行に詰められているため、吻端と尾端後端が確認しやすい(Fig. 1b)。したがって、本研究では入り数銘柄を主たる測定対象とし、段数銘柄の計測結果は個体別画像計測の精度評価において一部使用することと定める。

市場調査は1998年5月から2003年1月までの間に11回実施し、最近の2003年1月の資料は測定誤差要因の検討にのみ使用した。なお、同漁業は毎年5月16日から8月15日までの3ヶ月間を自主禁漁としているため、この間の調査は実施できない。各調査ではムシガレイの異なる銘柄を2~3箱買い上げるとともに、水揚げされた全銘柄について、1銘柄当たり2箱以上について、箱の上面に長さの基準となる物差しを置いて写真撮影した。これらの画像を市場箱詰め画像と称する。三脚等を使用すると精度の高い画像が得られるが、市場調査では迅速な撮影が必要なため、レンズと箱の上面とが平行になるように注意した上で手持ち撮影した。当初3回の調査では、35 mm 1眼レフカメラでカラーライドフィルムを使用した。この画像はフィルムスキャナー(ポラロイド社製)を用いてコンピュータに取り込み、JPEG画像として保存して、画像計測に供した。4回目(1999年10月)以後の調査では画像解析への利便性を考慮し、200万画素デジタルスティルカメラ(ニコン社製)を使用し、XGAサイズ(1024×768画素)のJPEGファイルに保存した。

買い上げた標本は研究室に持ち帰り、三脚に固定したカメラで市場撮影と同様に箱詰め状態で撮影し、これを箱詰め画像とした。箱から各個体を取り出して測定板を用いて全長を0.1 cm単位まで測定し、この値を実測全長TLとした。その後、無眼側を表にした状態で個体番号を付し、平板状に基準長とする物差しとともに1~6個体を並べ同様に写真撮影を行った(個体別画像)。

得られた画像の計測には画像解析ソフトウェアImage-

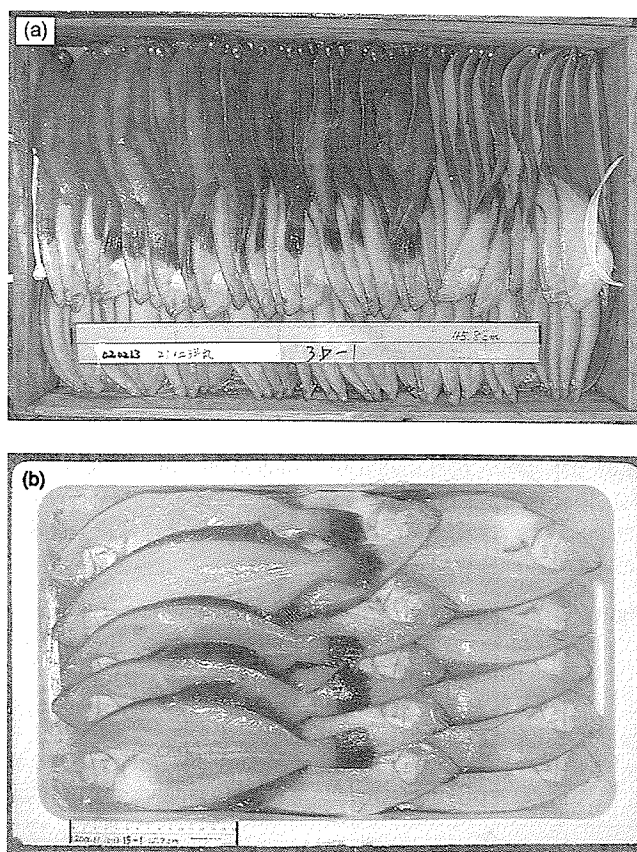


Figure 1. Photographs of spotted sole *Eopsetta grigorjewi* landed at the fish wholesale market of the Shimonoseki fishing port by paired trawlers. (a) small specimens packed in a wooden case; (b) large specimens laid in a styrofoam case.

Pro PLUS Version 3.01 (MEDIA CYBERNETIC社, USA)を使用した。ムシガレイ漁獲物の画像をコンピュータに読込み、画像上の物差しを使用して距離校正を行い、2点間距離測定機能(Length measurement)を使用し、吻端から尾端後端までの距離を測定した。なお、魚体が著しく湾曲している場合には軌跡測定機能(Trace measurement)を使用し、体軸上を通る2から5本の測定線の長さの合計を全長とした。

結果

個体別画像計測の精度評価

最初に画像計測による全長測定の妥当性を検討するため、最も精度高く測定できると考えられる個体別画像から測定した全長 TL_{ii} と測定板を使用した実測全長TLの比較をFig. 2に示す。10回の調査において、延べ21銘柄を買い上げ、総数547個体の画像計測値と実測値を比較すると良く一致し、その差 $TL_{ii}-TL$ は $-0.33\sim 0.47$ cmの範囲であり、96.9%に当たる530個体の TL_{ii} が $TL\pm 0.3$ cmの範囲内に

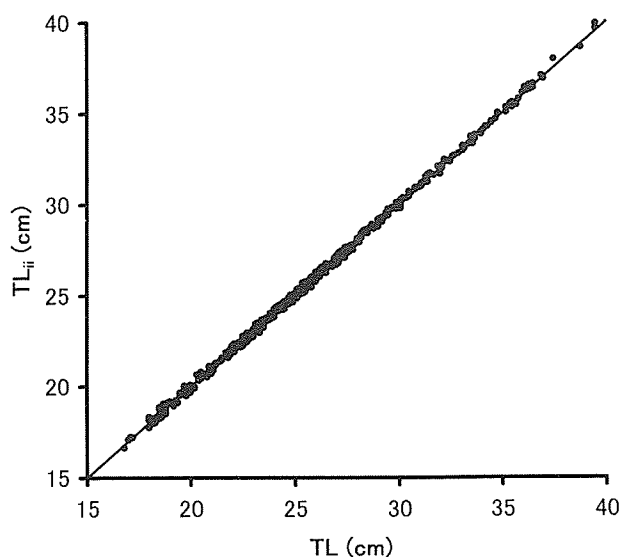


Figure 2. Comparison of total length measurements obtained by image analysis of individually photographed spotted sole (TL_{ii}) with those measured directly (TL).

あった。全個体についての差の平均値±標準偏差は 0.02 ± 0.18 cmで、僅かではあるが、画像計測値は実測値よりも過大に偏る傾向が認められた。

画像計測値と実測値の差の平均を銘柄毎に検討してみると (Table 1)、21銘柄中16銘柄において正の値を示した。画像計測では撮像面から測定線と基準スケールまでの距離が一致する場合に最も精度高い測定結果が得られる。今回の画像計測では物差しと魚体を同一平面に置いているため、物差しよりも厚みの大きい大型魚では測定値が過大になると考えられる。したがって、実測全長と偏りの関係を検討したが、有意な関係は認められなかった。偏りは最も大きい場合でも1mmに満たないため、補正を行う必要はないと判断した。

箱詰め画像計測の精度評価

画像計測により高精度で全長測定が可能であることが確認されたため、箱詰め画像からの全長測定結果と実測値の比較検討を行った。Fig. 1bからわかるようにスチロール箱入りのムシガレイは、魚体の約1/3が重なった状態で2列から4列に並べられている。したがって、体全体が見えて、全長測定が可能な左端または右端の1列の4~9個体を箱詰

Table 1. Comparison of means and standard deviations of total lengths measured directly (TL) and by image analysing technique applied to individually photographed spotted sole (TL_{ii}) for each commercial size class.

Sampling month	Commercial size class*1	Sample size	TL (cm)		TL_{ii} (cm)		$TL_{ii} - TL$ (cm)	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
May, 1998	15	15	30.47	1.23	30.53	1.24	0.07	0.11
May, 1998	28	28	24.72	0.97	24.77	0.95	0.05	0.15
May, 1998	32	32	24.33	1.64	24.38	1.64	0.06	0.13
Nov. 1998	21	21	26.82	0.56	26.84	0.51	0.01	0.16
Nov., 1998	5-Dan*2	80	22.94	0.87	22.92	0.85	-0.02	0.16
Mar., 1999	15	15	30.95	2.74	30.92	2.75	-0.03	0.12
Oct., 1999	18	18	29.66	0.53	29.71	0.59	0.05	0.13
Oct., 1999	24	24	26.85	0.47	26.83	0.50	-0.01	0.16
Apr., 2000	15	15	29.92	1.17	30.01	1.10	0.09	0.14
Apr., 2000	32	32	25.29	0.77	25.31	0.82	0.02	0.14
Sep., 2000	8	8	34.84	0.94	34.91	1.01	0.07	0.11
Sep., 2000	12	12	29.91	0.91	29.97	0.92	0.06	0.08
Dec., 2000	18	18	27.55	0.99	27.54	0.96	-0.01	0.10
Dec., 2000	32	32	26.24	0.85	26.27	0.87	0.02	0.18
Oct., 2001	8	8	36.35	1.62	36.40	1.65	0.05	0.10
Oct., 2001	24	24	26.14	0.77	26.15	0.78	0.01	0.13
Oct., 2001	6-Dan*2	102	20.03	1.54	20.03	1.55	0.00	0.18
Nov., 2001	10	10	34.85	1.05	34.82	1.24	-0.03	0.31
Nov., 2001	15	15	32.97	1.35	33.00	1.36	0.03	0.17
Feb., 2002	10	10	35.87	2.15	35.87	2.23	0.00	0.11
Feb., 2002	28	28	27.10	1.28	27.19	1.24	0.08	0.15
Total		547	25.82	4.43	25.83	4.45	0.02	0.18

*1: Commercial size class is coded by number of soles laied in a styroform container except small specimens packed in a wooden box.

*2: Small soles are packed in a wooden box. The commercial size class is coded by number of rows of soles (Dan).

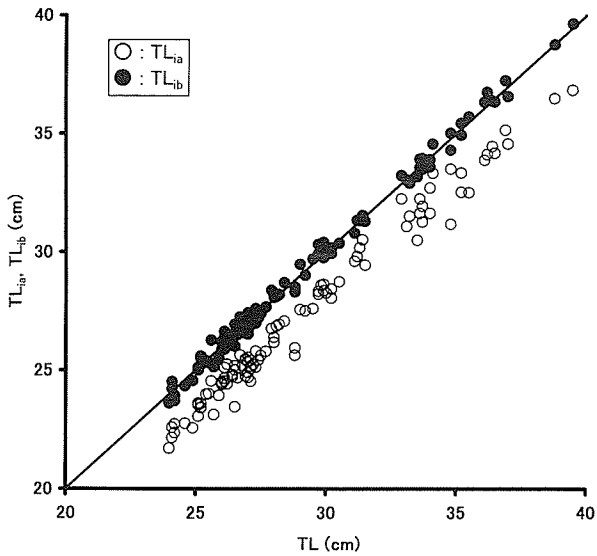


Figure 3. Comparison of total length measurements obtained by image analysis of mass photographed spotted sole in polystyrene cases (TL_{ia} , TL_{ib}) with those measured directly (TL). For image analysis, TL_{ia} (open circle) was calibrated by ruler along the upper edge of the case, and TL_{ib} (closed circle) standardized by the inside measurement of case length on the surface of crushed ice.

め画像の計測対象とした。

Fig. 3に画像計測値と実測値の関係を示す。図中に白丸で示したのはスチロール箱の上縁においた物差しを基準とした計測結果 TL_{ia} である。画像計測値と実測値の差 $TL_{ia} - TL$ の平均値 \pm 標準偏差は -1.80 ± 0.52 cm で、明らかに過小推定になっている。長さの基準とした物差しが魚体よりもレンズに0~数cm近いことが主因と考えられ、何らかの方法により過小を補正しなければならないが、魚体の下に敷いた砕氷の厚さが箱毎に異なるため、一律の補正では不十分である。使用されているスチロール箱は規格が統一された直方体状であり、内法の長辺は53.7cmで一定である。したがって、箱の両側側壁の砕氷と接する位置の間隔を基準長53.7cmとして再度画像から全長を計測し、これを TL_{ib} とした。なお、通常は砕氷の厚みを一様とみなして箱中央付近の1本の基準線により代表させた。しかし、砕氷の厚みが箱の位置により異なる場合も少数認められ、これは砕氷面がスチロール箱の側壁と接する線が箱上縁と平行でないことにより確認できる。この場合は個体毎に基準線を設定し直した。 TL_{ib} のプロット(黒丸)は45度線上に沿って分布し、 $TL_{ib} - TL$ の平均値 \pm 標準偏差は -0.0018 ± 0.29 cm で、偏りはほとんど解消した。 $TL_{ib} - TL$ は $-0.53 \sim 0.65$ cm の範囲で、測定した108個体の69.4%に当たる75個体の TL_{ib} が $TL \pm 0.3$ cm の範囲に、88.0%の101個体は $TL \pm 0.5$ cm にあった。各銘柄について TL_{ib} と TL を対にし、平均値の差をt検定したところ、全て有意差は認

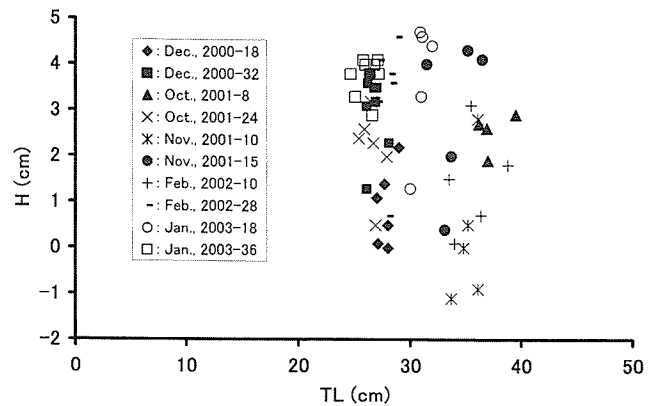


Figure 4. Vertical distance between snout and caudal fin tip levels of spotted sole in commercial expanded polystyrene cases (H) against total length (TL). In the symbol explanation, left and right side of hyphen show sampling month and commercial size class (number of individuals in a case), respectively.

められなかった。

箱詰め画像計測の誤差要因

箱詰め画像から計測した TL_{ib} は魚体が置かれている平面上に基準長を設定するため、基本的には個体別画像測定値 TL_{ii} と同様の測定法である。しかし、 TL_{ib} にはより多くの誤差要因が影響していて、その代表的なものが魚体の傾きと湾曲である。

最初に魚体の傾斜が TL_{ib} に与える影響を検討する。スチロール箱詰め時のムシガレイは隣列個体の頭部に尾部を乗せていて (Fig. 1b)、尾部が砕氷面よりも高く位置するのが普通である。2000年12月以降の調査では買い上げた標本について、頭部と尾部における箱上縁からの垂直距離をノギスを用いて測定し、その差から尾鰭後端一吻端間の垂直距離 H を求めた。Fig. 4に示すように、計測した61個体中57個体において尾部は頭部よりも高い位置にあり、 H の最大値は4.6cmであった。 H と TL の間に明瞭な関係は認められなかった。

画像計測において計測対象が画面に対して傾斜する場合は過小推定になると考えがちであるが、レンズから最も遠くに位置する吻端を基準線にして測定する TL_{ib} では異なる。Fig. 5に長さ L の物体を撮影した画像から TL_{ib} と同じ方法で計測した値 L_i の傾斜角 θ に伴う変化の様子を示す。傾斜角 θ が増大するとともに正の計測誤差が増大して、傾斜のない状態の撮影画角を θ_1 とすると、 $\theta = 1/2 \theta_1$ の時点で最大となり、 $\theta = \theta_1$ で誤差が0となり、後は負の誤差が増大していく。この点を確認するため、金属製の直線定規を使用して計測実験を実施した。撮影条件を市場調査のそれに近い、撮影距離(レンズから定規をおいた平面までの距離)であり、Fig. 5のDとは完全に一致しない)約1m、撮影面の長辺を約65cmとして $\sin \theta$ の値を0.025刻みで変化させた定規を撮影し、各画像から $L = 20, 25, 30, 35, 40, 45$ cm

について L_i を計測した。Fig. 6 に測定誤差 $L_i - L$ の $\sin \theta$ に対する変化を示す。箱詰めされたムシガレイは、およそ $22 < TL < 43$ cm, $0 < \sin \theta < 0.225$ ($0 < \theta < 13^\circ$) の範囲が多かったため、魚体傾斜は多くの場合 TL_{ib} の正誤差の要因になると推測された。

Fig. 5 から L_i は、

$$L_i = D \cdot L (\cos \theta - 1/2) / (D - L \sin \theta) + L/2 \quad (1)$$

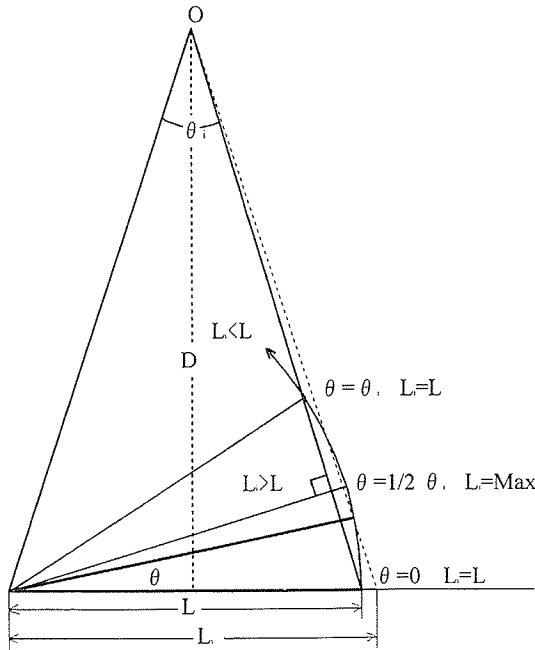


Figure 5. Diagrammatic illustration of changing relationship between original lengths L and measurement values by photoimages L_i with inclination angle θ .

により計算される。実験値に適合する D を非線形最小自乗法により探索した。Fig. 6 に示すように、実際の撮影距離と近い $D = 100 \sim 108.7$ cm で理論式が実験値に最も適合した。与えられた全長と傾斜における画像計測値を式(1)により予測可能であることが確認された。

次に魚体が湾曲することによる画像計測値の過小推定問題を検討する。魚体の湾曲には Fig. 7 に示すような2通りが考えられ、(a)を背腹方向の湾曲、(b)を左右方向の湾曲、と称するものとする。吻端と尾鰭後端の直線距離を画像により計測する場合、ともに測定値が過小になる要因である。無眼側を上向きに箱詰めされるスチロール箱入りムシガレイでは背腹方向の湾曲は画像から確認できる。湾曲程度が大きい場合には計測の際に体軸に沿った曲線により測定しているためその影響は小さい。

一方、体の薄いムシガレイは左右方向の湾曲が生じやすく、箱詰めされて傾斜するとほとんどの場合 Fig. 7b に示すように頭部が右(有眼側)方向へ湾曲する、これについては無眼側より撮影した画像においてその影響を評価することは困難である。2003年1月の標本2銘柄、15個体について、箱詰め状態のまま左右方向に湾曲した個体の体軸曲線長と吻端-尾鰭先端距離との関係を検討した。具体的には Fig. 7b に示すように、吻端を基準とした水平、垂直方向の体軸座標(i, H_i)を求めた。 H_i は魚体の下側で直接測定できないため、測定ではノギスを使用してスチロール箱上端から無眼側表面までの垂直距離 D_i を水平方向に1 cm 間隔で計測し、別に水平面において測定した体幅 W_i から、

$$H_i = D_0 + W_0/2 - D_i - W_i/2 \quad (2)$$

により求めた。ここで D_0 、 W_0 は吻端におけるそれぞれ垂直距離および体幅である。測定誤差の影響を除去するため、

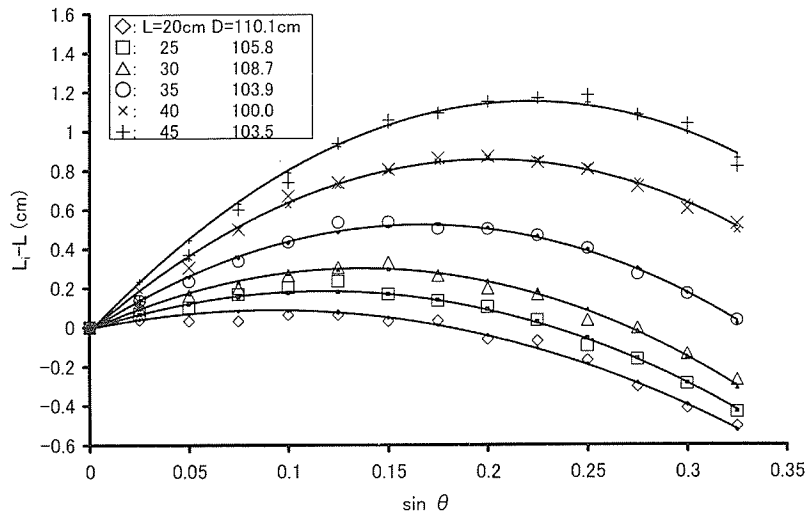


Figure 6. Results of experimental measurements by steel ruler at differing levels of inclination angle θ . L_i was measured by image analysis for each original length L 20, 25, 30, 35, 40 and 45 cm. Curve from equation (1) was fitted for each original length searching parameter D by the least square method.

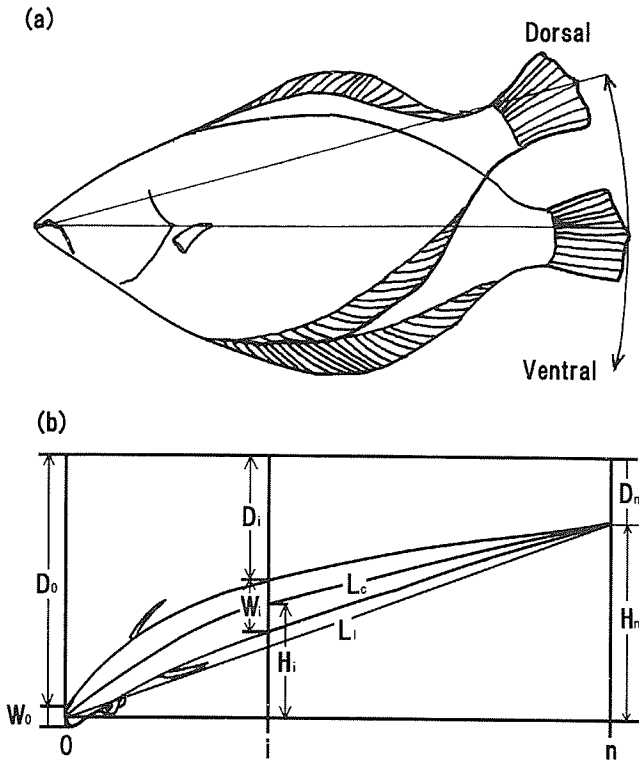


Figure 7. Diagrammatic illustration of the two types of convex body. (a) dorso-ventral direction and (b) right (eye side)-left (non-eye side) direction.

いくつかの曲線のなかで最も適合の良かった,

$$\hat{H}_i = a \{1 - (i+1)^{-b}\} \quad (3)$$

をあてはめて平滑化した. この曲線の水平 1 cm 間隔の直線距離の総和,

$$L_c = \sum_{i=1}^n \{(\hat{H}_i - \hat{H}_{i-1})^2 + 1\}^{1/2} \quad (4)$$

を湾曲した状態での全長の推定値とした. なお, 測定は水平間隔 1 cm で行ったので, 最後 (n 個目) の測定点と尾鰭後端は一致しないが, 湾曲による測定値の相対変化を知ることが目的としたため, この部分は計算から除外した. 一方, 湾曲した魚体の吻端から最後の測定点までの直線距離は,

$$L_l = (\hat{H}_n^2 + n^2)^{1/2} \quad (5)$$

により計算できる. したがって,

$$R_c = L_l / L_c \quad (6)$$

を吻端一尾鰭先端の直線距離を計測した場合の魚体湾曲による測定値の変化率とした. Fig. 8 に示すように, R_c は

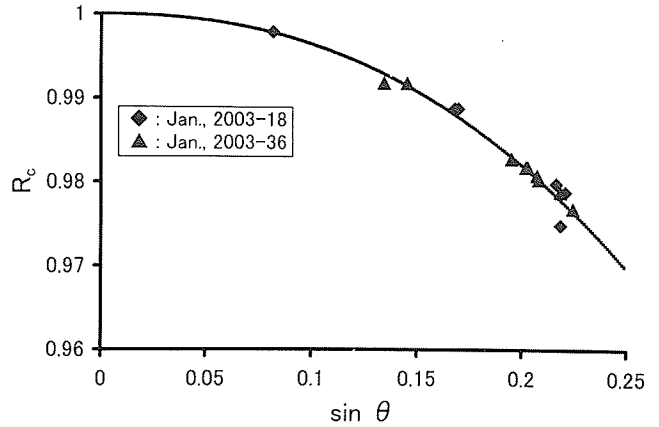


Figure 8. Relationship between rate of length decrease due to convex body R_c and $\sin \theta$.

0.975~0.998 の範囲であり, 傾斜の増大とともに減少し, $\sin \theta = H_n / L_l$ により求めた $\sin \theta$ との間には,

$$R_c = 1 - 0.825(\sin \theta)^{2.39} \quad (7)$$

がよくあてはまった. 上述したムシガレイの全長と $\sin \theta$ の範囲について, 式(1)の D 値を Fig. 6 の平均値から 105.3 cm として求めた傾斜による変化率 R_l , 式(7)から計算した R_c および両者の積から,

$$ERR_l = (R_l \cdot R_c - 1) \cdot 100 \quad (8)$$

により求めた理論的誤差率 ERR_l (%) を Table 2 に示す. ERR_l は $-2.55 \sim 1.28\%$ の範囲であった. 全長 25 cm 以下の小型個体では $\sin \theta$ が 0.2 を越えると R_l と R_c がともに 1 以下となって測定値が 2% 以上過小になり, 逆に 40 cm 以上の大型個体では $0.075 \leq \sin \theta \leq 0.15$ の範囲で R_l が大きく, 1% 以上過大に測定されることが観察された. しかし, この範囲以外の多くの場合は魚体傾斜による測定値の過大推定と湾曲に伴う過小推定が相殺され, 真値 $\pm 1\%$ 以内に収まると予想された.

測定個体と未測定個体の全長差異

本研究では箱詰めされた個体の内, 吻端と尾鰭後端が確認できる左端もしくは右端の 1 列のみを測定した. 測定個体が箱全体の全長組成を代表しているか否かを検討するため, 測定個体と箱入り全個体の全長の平均値を t -検定により, 分散を F -検定により比較した (Table 3). 19 銘柄中 13 銘柄の測定個体平均全長が全体平均全長よりも大きかったが, 両者間に有意な差が認められたのは 1 銘柄のみであった. 全長の分散には全銘柄で有意な差は認められなかった. したがって, 測定個体の全長組成は箱全体の組成を反映していたと判断される.

銘柄別全長組成

8 尾入りから 36 尾入りまでの 10 銘柄について, 1998 年 5 月から 2002 年 2 月までの 10 回の調査で得られた 300 枚の市場

Table 2. Theoretical measurement error rate ERR_i (%) calculated from error rate due to fish inclination R_i and convex body shape R_c .

$\sin \theta$	θ (degree)	R_i^{*1}						R_c^{*2}	ERR_i (%) ^{*3}					
		L=22 cm	25	30	35	40	43		L=22 cm	25	30	35	40	43
0.025	1.4	1.002	1.003	1.003	1.004	1.004	1.005	1.000	0.22	0.25	0.31	0.38	0.44	0.47
0.050	2.9	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	0.999	0.34	0.41	0.53	0.65	0.78	0.85
0.075	4.3	1.005	1.006	1.008	1.010	1.012	1.013	0.998	0.34	0.45	0.63	0.82	1.00	1.12
0.100	5.7	1.006	1.007	1.009	1.012	1.015	1.016	0.997	0.22	0.36	0.61	0.86	1.11	1.26
0.125	7.2	1.005	1.007	1.010	1.013	1.017	1.019	0.994	-0.04	0.14	0.45	0.77	1.09	1.28
0.150	8.6	1.004	1.007	1.010	1.014	1.018	1.021	0.991	-0.44	-0.22	0.15	0.53	0.92	1.15
0.175	10.1	1.003	1.006	1.010	1.014	1.019	1.022	0.987	-0.99	-0.73	-0.29	0.15	0.60	0.88
0.200	11.5	1.001	1.004	1.009	1.014	1.019	1.022	0.982	-1.69	-1.40	-0.90	-0.39	0.13	0.44
0.225	13.0	0.998	1.001	1.007	1.013	1.019	1.022	0.977	-2.55	-2.23	-1.67	-1.10	-0.51	-0.15

*¹: R_i was calculated from equation (1) using $D=105.3$ cm, which was an average of those in Fig. 6.

*²: R_c was calculated from equation (7).

*³: ERR_i (%) was calculated from equation (8).

Table 3. Statistical comparison of mean (t-test) and variatin (F-test) of total length measurement between measured specimens by image analyzing and all ones in each case.

Sampling month	Total ^{*1}			Measured ^{*2}			Difference (Measured–Total)			
	Sample size	Mean (cm)	S.D. (cm)	Sample size	Mean (cm)	S.D. (cm)	Mean (cm)	t-probability	S.D. (cm)	F-probability
May, 1998	15	30.5	1.23	5	30.8	1.79	0.33	0.65	0.56	0.27
May, 1998	18	24.7	0.97	6	25.5	1.00	0.75	0.08	0.03	0.82
May, 1998	32	24.3	1.64	8	26.2	1.90	1.90	0.007**	0.25	0.54
Nov., 1998	21	26.8	0.56	7	27.0	0.55	0.18	0.47	-0.01	0.94
Mar., 1999	15	30.9	2.74	5	31.0	2.81	0.01	0.99	0.07	0.83
Oct., 1999	18	29.7	0.53	6	29.7	0.34	0.04	0.85	-0.19	0.32
Oct., 1999	24	26.8	0.47	6	26.7	0.50	-0.20	0.32	0.03	0.75
Apr., 2000	15	29.9	1.17	5	30.1	1.03	0.14	0.82	-0.14	0.88
Apr., 2000	32	25.3	0.77	8	25.0	0.66	-0.25	0.40	-0.11	0.72
Sep., 2000	8	34.8	0.94	4	34.1	0.50	-0.71	0.19	-0.44	0.33
Sep., 2000	12	29.9	0.91	4	29.8	1.27	-0.11	0.85	0.35	0.37
Dec., 2000	18	27.6	0.99	6	27.8	0.73	0.25	0.58	-0.26	0.52
Dec., 2000	32	26.2	0.85	8	26.7	0.67	0.46	0.17	-0.18	0.53
Oct., 2001	8	36.4	1.62	4	37.4	1.44	1.05	0.30	-0.18	0.93
Oct., 2001	24	26.1	0.77	6	26.4	0.94	0.28	0.42	0.16	0.45
Nov., 2001	10	34.8	1.07	5	35.2	1.00	0.38	0.52	-0.07	0.98
Nov., 2001	15	33.0	1.55	5	34.0	1.93	1.03	0.20	0.38	0.29
Feb., 2002	10	35.9	2.15	5	35.6	2.11	-0.23	0.85	-0.04	0.94
Feb., 2002	28	27.1	1.28	7	26.3	1.17	-0.80	0.13	-0.10	0.09

*¹: All specimen in a case including measured ones using image analysing. Sample size is equal to the code of commercial size class N.

*²: Specimens measured by image analyzing

**³: Significant at 1% level

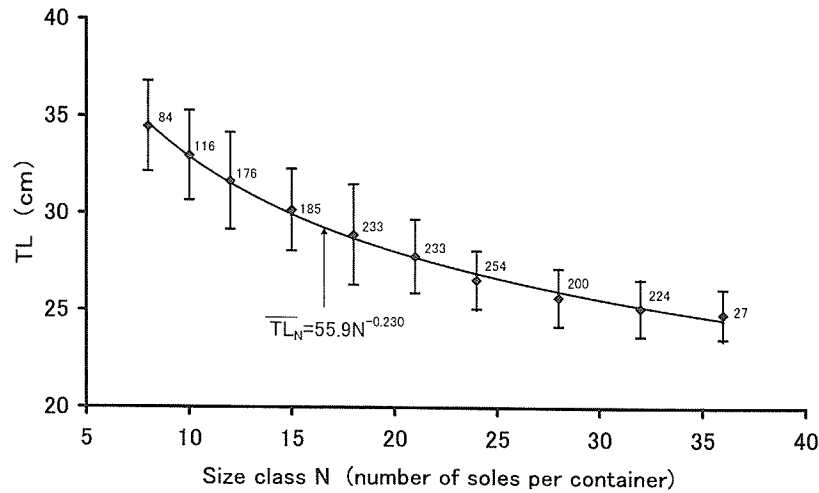


Figure 9. Mean and standard deviation (vertical bar) of total length measured by image analysing technique (TL_{ib}) for each commercial size class n of spotted sole. Numerals near symbols are sample size.

箱詰め画像から総数 1732 個体分の全長を TL_{ib} により測定した。銘柄毎に集計した全長組成はすべて単峰型の正規分布と有意差がないことが χ 乗検定により示された。したがって、銘柄別全長組成を正規近似することが可能であり、入り数毎の平均値と標準偏差を Fig. 9 に示す。銘柄別平均全長 \overline{TL}_N は入り数 N とのアロメトリー式、

$$\overline{TL}_N = 55.9N^{-0.23} \quad (9)$$

によってよく近似することができた。標準偏差は平均全長の増大とともに増加する傾向が認められたが、やや変動が大きかったため推定式は求めなかった。

考察

箱詰め画像における全長計測の誤差要因

本研究では箱詰め画像から全長計測を行う際に魚体が置かれている砕氷面の長さを基準とする TL_{ib} を使用して良い結果を得ることができた。これは箱詰め画像計測の誤差要因の項で検討したように、魚体傾斜による主として過大計測と魚体湾曲による過小計測がうまくバランスしていたためであった。Table 2 から明らかなように、全長 25 cm 以下の個体では過小計測、40 cm 以上では過大計測の確率が高くなる。Fig. 6 の計測実験は計算の利便性を考慮し、対象である物差しを画面中央に置いて行った。実際の市場測定では箱全体を撮影し、左端または右端の個体を計測した。Fig. 5 でカメラ O を少し右へ平行移動させると傾斜による過大計測の程度は縮小する。したがって、Table 2 の EER_i 値はわずかに小さくなり、傾斜が小さく ERR_i が正值の場合は誤差は減少する。しかし、小型個体で傾斜が大きい場合には過小計測の程度が大きくなる。本研究では全長 25 cm 未満の個体を測定した例は少なく、小型個体の計測結果が明らかに過小になることは観察されなかった (Fig.

3)。しかし、小型個体を多く測定する場合には傾斜角が小さくなるように撮影したり、撮影画角が大きくなるよう拡大撮影をするなどの工夫が必要であろう。

ムシガレイは体幅が小さく、かつ無眼側を上向きにして隣列個体と重なって箱詰めされていたため、傾斜と湾曲が同時に生じていた。より体幅が大きいタイ型魚類などでは湾曲による計測値の減少率はカレイ類の場合よりも小さいと考えられる。また、魚体側面が箱の底面と平行ではないことも多い。しかし、計測法を若干工夫することでタイ型魚類など他魚種の計測にも応用は可能である。

市場における体長測定に画像計測を導入する意義

画像計測技術は水産研究分野においても広く応用され、特に衛星画像による表面水温をはじめとする遠隔計測の分野に際立っている (Hamano *et al.*, 2002; 竹内ほか, 2003; 米田ほか, 2003 など)。また、耳石日周輪の解析 (Takahashi *et al.*, 2001) や卵巣卵卵径頻度分布の作成 (今井・榊取, 2000) などミクロスケール画像の解析にも応用例が増えつつある。一方で、体長測定などのマクロスケール測定に画像計測を導入した報告事例は数少なく、水中を遊泳する魚の大きさを取り上げることなく測定することへの応用例がいくつか報告されている (Irvine *et al.*, 1991; Shieh and Petrell, 1998; 吉原, 1999 など)。また、井口ほか (2001) は個体の写真から形態を計測し、イワナとカワマスおよびその雑種の判別に応用している。これは遊漁漁獲物の調査で標本が得にくいこと、および測定項目が多いことに対応するため、画像計測を応用した事例である。

本研究において比較的容易な体長測定に画像計測を導入した意義は以下に述べるように数多いが、最も注目すべき点は漁獲物に触れずに測定できる、すなわち非接触測定である点である。多くの市場関係者は研究調査に理解を示してくれるものの、漁獲物の鮮度落ちはもちろん、整列の乱

れなど市場価格の減少に繋がる要因には敏感である。箱から取り出して測定する許可が得られるのは調査活動が商品価値の減少や市場活動の障害に繋がらないという安心感がある場合に限られる。これまで水産試験場等の調査員が市場での測定許可を得られたのは、長い時間をかけて市場関係者との信頼関係を築き上げたためと考えられる。

非接触の写真撮影だけなら整列を乱す心配もなく、市場調査受諾の可能性が大きくなり、調査の可否が人間関係に左右されることも減少する。本研究の事例のように、整列して箱詰めされて出荷される場合に加え、活魚出荷される市場への応用も期待される。水槽から魚を取り出して測定すると傷ついたり生残時間が減少する危険が大きいため、活魚市場では測定を拒否される場合が多い。しかし、水槽内で写真撮影するだけであれば魚への影響は軽微で受諾される機会が格段に大きくなるであろう。ヒラメをはじめとする異体類は活魚であっても水槽内で着底することが多く、本方法による測定を適用し易い魚種であると考えられる。

次に市場における高い作業効率と簡便性も利点である。下関漁港市場の沖合底曳網漁船の場合、深夜23時から水揚げ作業が始まり、翌朝1時に競売が開始される。測定に費やせる時間は荷揚げ完了から競り開始までの約1時間しかない。このように短時間で調査を完了しなければならない状況は他の市場でもほぼ同様であろう。市場における直接測定では取り出して測定する時間に加え、箱へ戻して並べる作業時間を要する。さらに、この作業には技術の習得が必要で、不慣れた調査員は時間を浪費するだけでなく、並べ方が悪ければ市場関係者の信頼を失墜しかねない。写真撮影だけの本方法は撮影時間が短いだけでなく、難しい箱戻し作業が不要なので、調査員の習熟度により作業能率が影響されることはない。

第3番目の利点として低コストがあげられる。今回は画像による体長測定の精度を詳細に検討する目的で総測定個体数の1/3弱に当たる標本を買い上げたため、相当な経費はかかっている。しかし、測定手法が確立された後は画像による測定で十分である。箱詰め状態が同様のカレイ、ヒラメ類については買い上げ標本数を最小限に抑えることも可能である。写真画像、特にデジタル画像の収録にはほ

とんど経費はかからないため、測定個体全部を買い上げて測定する場合に比較して大幅な経費節減になる。

最後に再現性も大きな利点である。写真画像を残しておけば、異常な測定結果が生じたときなど、いつでも再測定を実施できる。また、測定法が改良された場合、あるいは体長以外の測定項目が必要となった場合にも過去の資料に遡って対応可能である。

謝 辞

本研究の調査にご協力いただいた山口県以東機船底曳網漁業協同組合 福田伊勢夫組合長をはじめとする船主各位および下関中央魚市場(株) 若松昭生氏、山口県下関水産振興局の木谷幸治氏をはじめとする市場関係者各位に深い謝意を示す。調査活動に参加された水産総合研究センター西海区水産研究所の伊藤正木主任研究官(現 東北区水産研究所)、依田真里研究員および水産大学校海洋生産管理学科4年生各位に感謝する。

引用文献

- Hamano, A., T. Nakamura and H. Maeda (2002) Improvement in school-size estimates of pelagic fish using information from sector-scanning sonar. *Fish. Oceanogr.*, **11**, 361–365.
- 井口恵一郎・北野 聡・松原尚人 (2001) モルフォメトリーによるイワナ・カワマス間の種判別. *水研センター研報*, **1**, 1–5.
- 今井千文・榊取和明 (2000) 山口県日本海におけるカタクチイワシの1回当たり産卵数の変動. *水大校研報*, **48**, 281–291.
- Irvine, J. R., B. R. Ward, P. A. Teti and N. B. F. Cousens (1991) Evaluation of a method to count and measure live salmonids in the field with a video camera and computer. *North Amer. J. Fish. Manag.*, **11**, 20–26.
- Shieh, A. C. R. and R. J. Petrell (1998) Measurement of fish size in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) cages using stereographic video techniques. *Aquacultural Engin.*, **17**, 29–43.
- Takahashi, M., Y. Watanabe, T. Kinoshita, and C. Watanabe (2001) Growth of larval and early juvenile Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Kuroshio–Oyashio transition region. *Fish. Oceanogr.*, **10**, 235–247.
- 竹内利明・伊藤恭市・二平 章・為石日出生 (2003) 漁業者のための衛星リモートセンシング講座. *水産海洋研究*, **67**, 40–56.
- 米田佳弘・吉田 司・小山善明 (2003) レーダー画像解析によるマアナゴ漁場の変動把握. *水産海洋研究*, **67**, 1–8.
- 吉原喜好 (1999) 水中ビデオカメラとレーザー光を併用した魚体長計測について—泳いでいる魚の長さを計る—. *画像ラボ*, **10**, 5–10.