

## マナマコの新標準体長の有効性

山名裕介\*<sup>1</sup>・浜野龍夫\*<sup>1\*2</sup>

### Suitability of a new standard size measurement for the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867)

Yusuke Yamana\*<sup>1</sup> and Tatsuo Hamano\*<sup>1\*2</sup>

To determine the effective use of a new standard body length ( $Le$ ) of *Apostichopus japonicus*, intertidal line-transect survey and subtidal diving survey were carried out. The  $Le$  is the estimated value of  $La$  (anesthetized body length) and can be calculated from body length and body breadth according to the regression formula without anesthesia. Here we simultaneously used  $Le$  and the conventional body length ( $L$ ) to clarify the structure of the natural population, and compared the results by using  $Le$  and  $L$ .  $L$  were measured while animals freely extended and contracted. It was found that there is a trend that the body size was underestimated using  $L$  for middle - large sized animals (over 100 mm at  $Le$ ), which generally showed strong body contractions. The analysis of polymodal frequency distribution into normal distributions shows that, all of the means of the Gaussian distributions adapted for  $L$  were smaller than that of  $Le$ . Further,  $L$  of large sized animals tended to be markedly lower than  $Le$ . Thus the growth curve calculated from  $L$  underestimated the rate of growth.

Key words : Echinoderm fisheries, Measurement, Length, Size, Diving surveys

#### 1 はじめに

マナマコ *Apostichopus japonicus* は、北海道から鹿児島県種子島にいたるまでの日本沿岸に広く分布し<sup>1)</sup>、生食や乾物に利用される水産上重要種である。近年では、各地で資源は減少傾向にあるといわれているが、資源管理プログラムを策定するために必要な、成長速度や資源構造など個体群生態学的な精度の良い知見は得られていない。その大きな理由として、マナマコの体サイズ測定基準の曖昧さが挙げられる。特に、体長の測定は、マナマコが著しく伸び縮みするため正確さを欠くことが知られている<sup>2)</sup>。また、呼吸樹に大量の海水が入っていたり、消化管に摂餌活動で砂が多く取り込まれているため、体積や体重も変動が大きい<sup>3)</sup>。そこで、マナマコの体サイズの望ましい測定基準として、殻重<sup>2)</sup> (解剖して内臓や体液を除去したときの体重)あるいは、麻酔体長<sup>4)</sup> (メントール麻酔で伸縮を止めたときの体長) が挙げられているが、これらの測定基準は、その測

定に手間がかかり、野外調査や潜水調査では使用できなかった。よって、従来、フィールドでマナマコを測定する場合には、著しい伸縮状態を避け、自然型に近い体型のときに体長<sup>2)</sup> を測定することが多かった。

著者らは、マナマコの標準的な体長測定基準を麻酔体長 ( $La$ ) とすることを提案し、さらに、伸縮状態にかかわらず体長 ( $L$ ) と体幅 ( $B$ ) の1回の測定から、回帰式により麻酔体長の推定値 ( $Le$ ) を計算する方法を報告した<sup>4,5)</sup>。この回帰式により計算された  $Le$  と、実測した  $La$  の誤差は小さく、青色型で  $Le$  の1.4~24.5% (平均6.4%)、黒色型で  $Le$  の1.3~31.1% (5.9%) である<sup>5)</sup>。また、 $Le$  の変動幅は、 $L$  の変動幅の4分の1程度であるので、 $Le$  は伸縮の影響を受けにくく、 $L$  よりも体サイズを正当に評価できる<sup>5)</sup>。このように、 $Le$  は野外調査において大変有効で便利な新測定基準であるが、実際の野外調査において  $Le$  を使用した例は無く、資源研究にどの程度役立つかは明らかにされていない。ここでは、研究の現場で実施される

2005年12月9日受付。Received December 9, 2005.

\* 1 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6596, Japan)

\* 2 別刷り請求先 (Corresponding author : Phone, +81-832-86-5111 ; Fax, +81-832-86-7435 ; E-mail, hamanot @ fish-u.ac.jp)

ことが多い2つの調査、潮間帯のライントランセクト調査（調査Ⅰ）と、潮下帯の潜水調査（調査Ⅱ）を実施した。そして、一回の調査で、 $L$ と $Le$ の2通りの測定基準を使って、天然個体群の構造を解析し、 $Le$ の有効性について検証した。

## 2 調査Ⅰ，Ⅱに共通する材料と方法

本研究では、潮間帯のライントランセクト調査（調査Ⅰ）と、潮下帯の潜水調査（調査Ⅱ）を実施した。2つの調査は、2005年4月23～25日の大潮最干潮時の前後2時間以内に実施した。各調査地点において、マナマコを徒手採集し、 $L$ と $B$ の2通りの測定を行い、さらにこの値から回帰式(2.2参照)に従って $Le$ を算出した。そして、 $L$ と $Le$ の測定結果から1クラス5mm幅の体長組成図を作成し比較した。また、クラスの三項移動平均値によるサイズ組成も求めた。さらに、Marquardt法を使った $\chi^2$ 最小化法<sup>6)</sup>により正規分布分解し、解析結果を比較した。本研究の調査期間は、調査水域のマナマコの活動期に当たり<sup>7)</sup>、活発な摂餌行動が観察された。

### 2.1 測定方法

採集したマナマコの $L$ と $B$ を同時に一回だけ測定した。 $L$ は、頭部吻端から尾部末端までの体正中線上に沿った長さを、 $B$ は、体中央における疣足を含めない体幹部の幅を、それぞれmm単位で測定した。

マナマコは体色によって、青色型、黒色型、赤色型という3つの色型に分けられ、商品価値や遺伝的性質<sup>8)</sup>が違うことから、これらを区別して取り扱うことが多い。そのため、 $Le$ を計算する回帰式も、青色型と黒色型では色型別に提案されている<sup>9)</sup>。よって、測定の際には、まず、採集したマナマコの腹面の色を目視確認し、緑、黒、赤に大別して、それぞれを青色型、黒色型、赤色型として色型の判別を行った。その後、調査Ⅰ，Ⅱのそれぞれの手順で測定を実施した。ただし、赤色型については、 $Le$ を計算する回帰式が提案されておらず、本研究の対象外とし、 $L$ と $B$ のいずれも測定しなかった。

### 2.2 $Le$ の計算方法<sup>5)</sup>

$Le$ は、Yamana & Hamano<sup>3)</sup>に従い、同時に測定した $L$ と $B$ から、色型別に以下の式によって計算した。

青色型

$$Le \text{ (mm)} = 2.32 + 2.02 \cdot (L \cdot B)^{1/2}$$

黒色型

$$Le \text{ (mm)} = 1.34 + 2.12 \cdot (L \cdot B)^{1/2}$$

## 3 調査Ⅰ

潮間帯のライントランセクト調査を、2005年4月25日に、山口県東部平生湾の平生町水場（水産大学校付属の田名臨海実験実習場から北へ500mの地点）で実施した（Fig. 1）。この調査地点は、近隣水域の中でも特に好適なマナマコの成育場であり、幼稚仔サイズを中心とした高密度の分布が確かめられている<sup>9)</sup>。

### 3.1 調査地点の概要

調査地点は、海岸線を守る自動車道の護岸下であり、護岸に沿って約10mの幅で捨石が敷かれていた。捨石の大きさは約0.3m<sup>3</sup>で、その天端面が潮間帯下部に揃えてあった。一部の捨石は、堆積した土砂やカキ殻に覆われ、砂泥底となり、干潮時にタイドプールが出現した。本研究では、調査面積に、捨石の部分と砂泥の部分とが等分に含まれるように、海岸線と平行に10mのラインを設置した。調査日の表層水温は15.0℃だった。

### 3.2 調査手順

10mのロープを潮間帯に設置したものをラインとし、両側1m以内の全てのマナマコを採集した。潮間帯には小型のマナマコが多いが、それらについては調査員による見落としが非常に多くなることが知られている<sup>10)</sup>。このため、捨石や海藻の間隙では、時間をかけ特に念入りに採集する必要があった。採集したマナマコは、現地で海水を張った

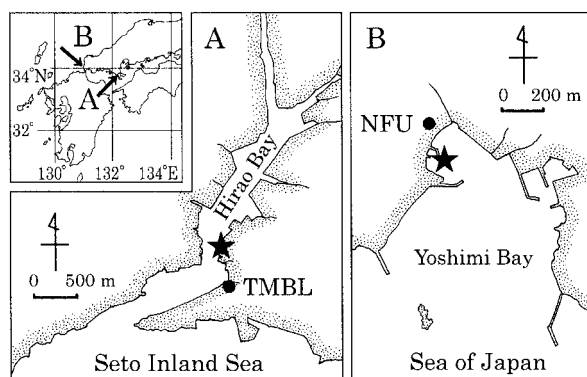


Fig. 1. Maps showing the study sites. (A) Hirao Bay for the intertidal research (Res. I). (B) Yoshimi Bay for subtidal research (Res. II). Stars denote the study sites. TMBL, Tana Marine Biological Laboratory. NFU, National Fisheries University.

白色のバットに定規と一緒に入れ、デジタルカメラで撮影した後、現地に放流した。その後、研究室で画像から $L$ と $B$ を測定し、 $Le$ を計算した。

### 3.3 結果

潮間帯で採集されたマナマコの総個体数は133個体で、そのうち青色型が108個体(81%)、黒色型が25個体(19%)だった。赤色型は採集されなかった。これらの個体は、主に捨石の上面や陰、そしてタイドプール中に繁茂するアナオサ *Ulva pertusa* の葉体上から採集された。 $L$ 、 $Le$ の体長範囲は、それぞれ11~196 mm、13~235 mmで、小型~大型の個体まで幅広いサイズが認められた。また、採集の際、色型による採集場所の差異や体サイズの違いは認められなかったため、色型を区別せず体長組成図を作成した(Fig. 2)。

体長組成図を見ると、いずれの測定基準とも、小型個体を主体とした体長組成となり、一般に1歳未満の幼稚仔サイズとされる $L0 \sim 50$  mmの範囲<sup>7)</sup>には、83個体(62%)が含まれた。測定基準による体長組成の違いが認められたのは、主に、100 mmより大きい中型~大型サイズにおいてであり、それ以下の小型サイズでの違いは、明らかではなかった。平均体長は、 $L$  53.2 mmに対して、 $Le$  56.2 mmで、 $L$ が僅かに小さかった。

正規分布分解の結果は、測定基準により大きく異なった。解析に際して、個体数が非常に少なかった200 mm以

上の測定結果は除いた。 $Le$ では、4峰に分解するのが適当と判断でき、大変よく収束し、どの峰も比較的分散の小さい正規分布となった(Fig. 3の $Le$ , 4 cohorts)。さらに、これと同じ初期値を用いて、 $L$ も4峰への分解を試みたが、初期値からかなり離れた位置で収束した(Fig. 3の $L$ , 4 cohorts)。また、各峰の平均値は $Le$ のときより小さかった。さらに、 $L$ の最大サイズの峰では分散が極端に大きくなった。同様の結果は、2峰や3峰への分解を試みても変わらなかった(Fig. 3の $L$ , 2および3 cohorts)。

## 4 調査 II

潮下帯の潜水調査を、2005年4月23日に、山口県西部吉見湾の永田本町にある水産大学校の正門前の突堤で行った(Fig. 1)。この突堤は、周囲約230 mと潜水調査に手頃な規模である上に、マナマコの漁獲が行われていないことから、潮下帯での成体マナマコの調査に適している。

### 4.1 調査地点の概要

低潮線から海底までの水深は0~4 m(平均2 m)であった。海底の底質は砂質~軟泥質で、突堤の近くにはカキ殻がまばらに沈んでいた。突堤は矢板の枠組みの上にコンクリートブロックが乗った構造で、高潮線より下の部分は矢板となっている。矢板にはマガキ *Crassostrea gigas* を始め

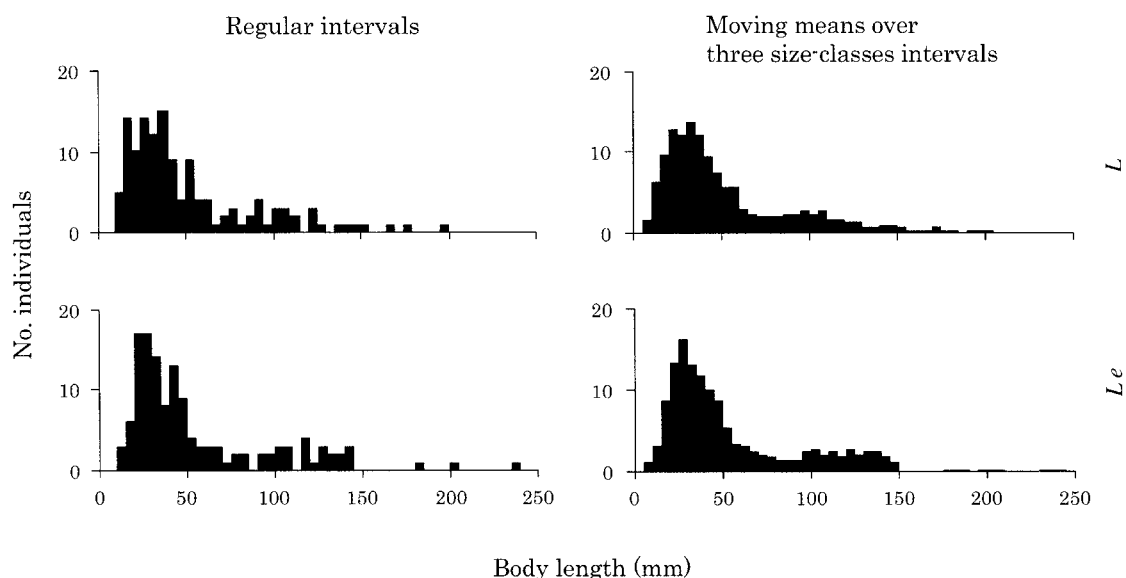


Fig. 2. Size distributions using  $L$  and  $Le$  of *Apostichopus japonicus* collected in  $10 \times 2$  m of the intertidal zone near TMBL on 25 April 2005 (Res. I).  $L$ , body length, were measured while animals freely extended and contracted.  $Le$ , estimated anesthetized body length<sup>4)</sup>, were standard body length of *A. japonicus*, calculated from body length and body breadth according to the regression formula<sup>5)</sup>. Both  $L$  and  $Le$  were obtained from the same animals. Data for the green and the black color types of *A. japonicus* are combined.

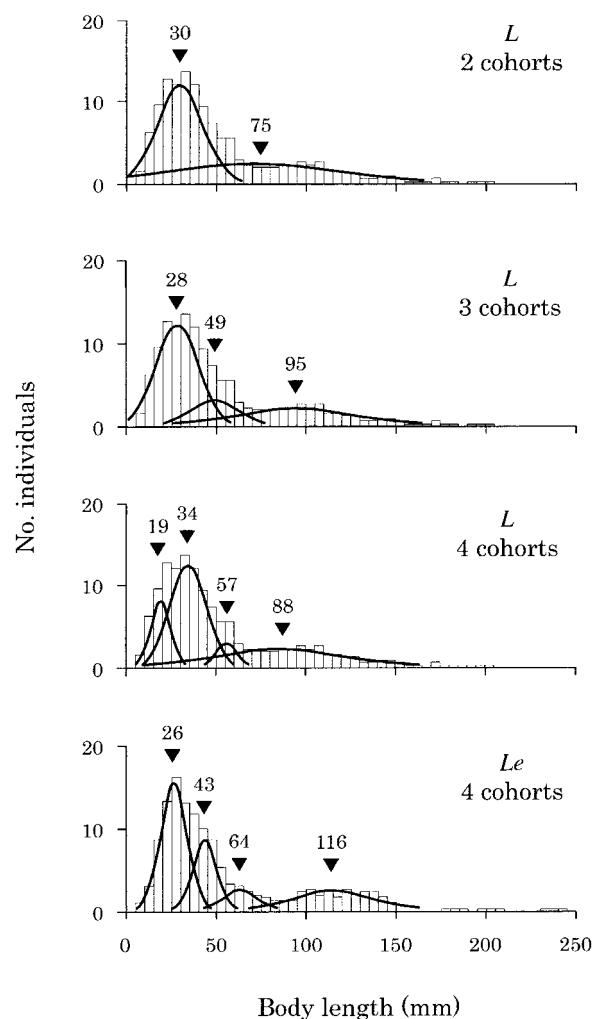


Fig. 3. Polymodal analysis of *Apostichopus japonicus* collected in Res. I. Data are moving means over three size-classes intervals. Triangles indicate the means of the Gaussian distributions described by solid curves.

とした付着生物が密生し、マナマコの探索は極めて困難であった。また、海水の濁りもあり、さらに、全面にワカメ *Undaria pinnatifida* が密生していた。調査日の表層水温は 15.6℃、底層水温は 15.4℃ だった。

#### 4.2 調査手順

低潮線より下の突堤の周囲全面、および突堤から 1.5m 以内の海底を、SCUBA 潜水を用いて潜水し、探索した。潜水中にマナマコを発見したら、水中でマナマコの腹面に定規を当てて測定を行った。

#### 4.3 結果

潮下帯で発見したマナマコの総個体数は 108 個体で、そ

のうち青色型が 105 個体 (97%)、赤色型が 3 個体 (3%) だった。黒色型は発見されなかった。これらの個体は、主に海底や岸壁の下部から発見された。L, Le の範囲は、それぞれ 87~224 mm, 94~234 mm であった。ここでは、青色型だけの測定結果から体長組成図を作成した (Fig. 4)。

体長組成図を見ると、いずれの測定基準とも、100~200 mm の中型の個体が、L では 92 個体 (88%)、Le では 85 個体 (81%) と多かった。測定基準による体長組成の違いは、全体的に明らかではなかった。平均体長は、L 134.5 mm, Le 144.2 mm と、L が約 10 mm 小さかった。

正規分布は、L, Le とともに 2 峰へ分解した (Fig. 5)。いずれの測定基準も、小型~中型の個体からなる大きな 1 峰と、大型個体の小さい 1 峰とに分けられた。L では、調査 I と同様に、大型サイズ群の分散が大きく、小型サイズ群の峰と広い範囲で重なった。また、2 峰の平均値とも、L は Le より小さかった。

### 5 考察

本研究では Le と、従来用いられてきた L を使用して、天然個体群の構造を解析した。本研究の結果、体長測定時に体が収縮するケースが多く、Le よりも L の方が小さくなる傾向にあった (Fig. 6 の I および II)。調査 I では、Le で最大の 235 mm の個体が、L では 69 mm も小さかった。また、Le が 100 mm より大きい中型~大型の 24 個体のうち、19 個体 (79%) では、Le よりも L が小さかった。一方、Le 100 mm 以下の 109 個体では、L の方が小さかったのは 64 個体 (59%) だけで、このような傾向は認められなかった。同様の傾向は、調査 II でも認められ、Le 100 mm より大きい 99 個体中 76 個体 (77%) では、L の方が小さかった。

正規分布分解の結果、平均値は、大型のサイズ群ほど L が Le より大幅に小さくなり、分散は大きくなる傾向にあった。これらの傾向は、L では、大型のサイズ群ほど、隣接する峰と平均値の差が小さくなることを示しており、それに適用した成長曲線では、成長速度が過小評価されていることを意味している。従って、L を用いて個体群の解析を行う場合、実際よりも成長速度を遅く見積もったり、大型のサイズ群が認識されないなど、誤った結果が導かれやすくなると考えられる。たとえば、本著者の一人である浜野は、瀬戸内海の潮間帯におけるマナマコ天然個体群を調査し、L を測定して成長曲線を求めているため<sup>7)</sup>、成長を過小評価している可能性があり、今後、研究の詳細な見直し

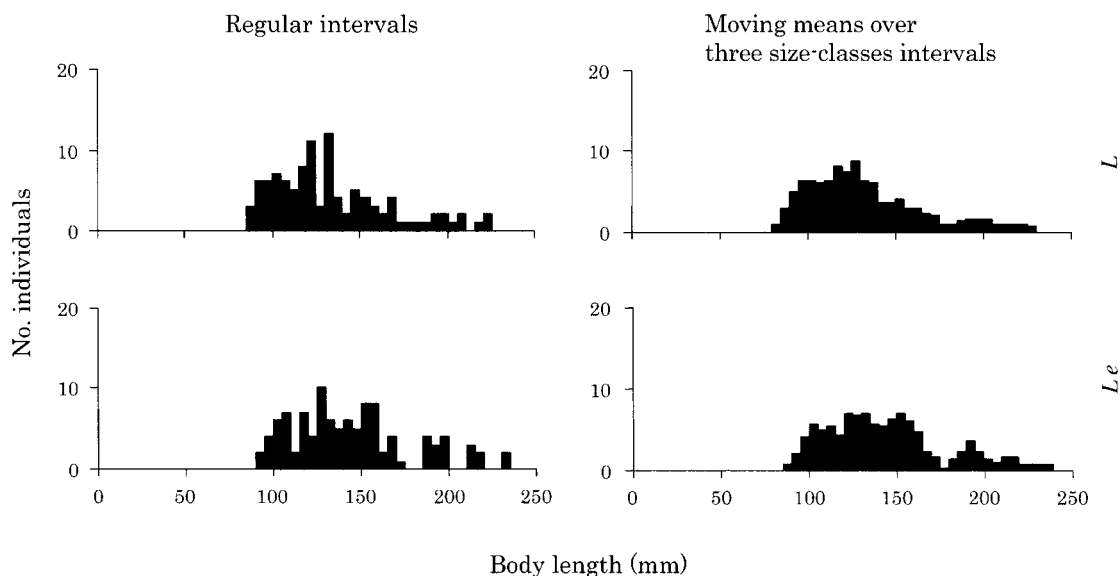


Fig. 4. Size distributions using  $L$  and  $Le$  of *Apostichopus japonicus* obtained in the subtidal zone around a pier front of NFU on 23 April 2005 (Res. II). Data for the green color type of *A. japonicus* are used and the red color type data not included.

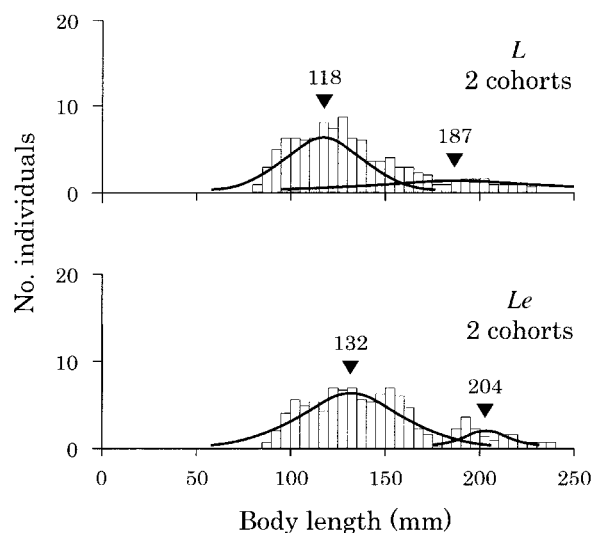


Fig. 5. Polymodal analysis of *Apostichopus japonicus* collected in Res. II. Data are moving means over three size-classes intervals. Triangles indicate the means of the Gaussian distributions described by solid curves.

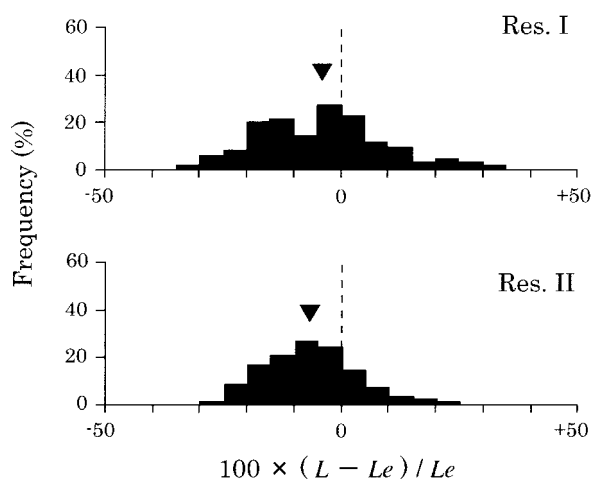


Fig. 6. Error distributions in Res. I and Res. II of  $L$  for  $Le$ . Triangles indicate the average values.

が必要となろう。

$L$ と $Le$ の測定における作業効率に着目すると、写真から測定を行う場合、 $Le$ では体長だけでなく体幅も測定するため、測定にかかる作業時間は $L$ よりも増加する。しかし、最も重要視すべき現場での作業時間は、 $L$ も $Le$ も変わらない。潜水調査の場合は、 $Le$ の測定では、従来の $L$ の測定の

ように、マナマコの伸縮を見計らう必要は無く、いつでも作業従事者自身のペースで測定でき、結果として潜水時間の短縮に繋げることが出来る。また、潜水中でも写真撮影が行えるならば、作業は一層効率的になる。

以上の結果と考察から、マナマコの資源研究には、体サイズ測定基準として $Le$ の使用が有効であると考えられる。な

お、赤色型のマナマコについては本研究では対象としなかったが、青色型や黒色型と同様に、回帰式を求めた上で、 $Le$ の使用が有効であると考え。赤色型は、他の色型に比べ体の柔軟性が強く、 $L$ の測定は大きな誤差を伴う上<sup>2)</sup>、測定の際の僅かな接触によっても、ほとんど球形に近い形にまで収縮し、このような体型がしばらく維持されるため、 $L$ の測定は特に困難である。

## 6 要 約

野外調査において、マナマコの新しい体サイズ測定基準である $Le$ の有効性を検証するため、潮間帯のライントランセクト調査および潮下帯の潜水調査を実施した。 $Le$ は、麻酔下で測定される体長の推定値であり、麻酔無しで体長と体幅を一回測定すれば回帰式から計算できる。ここでは、 $Le$ と、従来用いられてきた体長( $L$ )を使い、天然個体群の構造を解析し、結果を比較した。その結果、 $Le$ が100 mmより大きい中型～大型のマナマコは、体長測定時に体が大きく収縮している場合が多く、 $Le$ よりも $L$ の方が小さくなる傾向にあった。また、多峰型の組成を正規分布分解した結果、 $L$ では、全ての峰の平均値が $Le$ のものより小さくなり、さらに、大型のサイズ群ほどその傾向は強かった。このため、 $L$ を使って求めた成長曲線は、成長速度を過小評価すると考えられた。

## 謝 辞

本研究に助力を賜った、水産大学校田名臨海実験実習場の半田岳志博士、三木浩一氏、同校生物生産学科の水産動物学研究室の荒木晶博士、学生諸氏に感謝する。

## 文 献

- 1) K. Mitsukuri : Studies on Actinopodous holothurioidea. *Journal of College of Science, Imperial University of Tokyo*, 29(2), 1-284 (1912).
- 2) 崔 相：なまこの研究 海文堂、東京、1-226 (1963).
- 3) 西平守孝・新垣則雄・本永忠久：沖縄島の転石潮間帯におけるムラサキクルママナマコ個体群の予備的観察. ベントス研究会連絡誌, 15/16, 73-86 (1987).
- 4) 山名裕介・浜野龍夫・山元憲一：成体マナマコのメントール麻酔に関する研究. 日本水産学会誌, 71 (3), 299-306 (2005).
- 5) Y. Yamana and T. Hamano : A new size measurement for the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Stichopodidae) estimated from the body length and body breadth. *Fisheries Science*, 72, in press (2006).
- 6) 赤嶺達郎：Polymodalな度数分布を正規分布へ分解するBASICプログラムの検討. 日本海区水産研究所研究報告, 35, 129-160 (1985).
- 7) 浜野龍夫・網尾 勝・林 健一：潮間帯および人工藻礁域におけるマナマコ個体群の動態. 水産増殖, 37 (3), 179-186 (1989).
- 8) M. Kan-no, A. Kijima : Genetic differentiation among three color variants of Japanese sea cucumber *Stichopus japonicus*. *Fisheries Science*, 69, 806-812 (2003).
- 9) 山名裕介・浜野龍夫・三木浩一：山口県東部平生湾の潮間帯におけるマナマコの分布-稚ナマコの成育適地の環境条件. 水産大学校研究報告, 投稿中.
- 10) 浜野龍夫・近藤正和・大橋 裕・立石 健・藤村治夫・末吉 隆：放流したマナマコ種苗の行方. 水産増殖, 44(3), 249-254 (1996).