

# 実験イケス内のミナミマグロ *Thunnus maccoyii* 幼魚の ターゲットストレングスの直接測定

宮下和士\*<sup>1</sup>・西田 勤\*<sup>2</sup>

## *In situ* TS Measurements of Live Juvenile Southern Bluefin Tuna *Thunnus maccoyii* Using the Cage Method

Kazushi Miyashita\*<sup>1</sup> and Tsutomu Nishida\*<sup>2</sup>

### Abstract

In this study, we measured *in situ* target strength (TS) of live juvenile southern bluefin tuna (SBT) *Thunnus maccoyii* swimming in an experiment cage. In January and February 1998, TS measurements were conducted on caged SBT at the port of Esperance, Western Australia. A 70kHz split beam SIMRAD EY500 quantitative echo sounder was used with EP500 post processing software. The acoustic system was calibrated in the field using a 32mm copper sphere. The experimental fish cage was 5m in diameter with a circular wall of netting from the surface to 10m depth. Two size classes (mean fork length = 52.6cm and 72.6cm) of SBT were measured and analyzed. Mean TS<sub>cm</sub> of SBT ranged from -75.1dB to -74.1dB. TS of juvenile SBT is as small as that of the non-swimbladdered fish.

### 1. はじめに

ミナミマグロ *Thunnus maccoyii* ではオーストラリアの北西沖合に産卵場があり、南半球の中・高緯度に広く分布している重要な水産資源である。この資源を漁獲対象としているのは、日本を始め、オーストラリア、ニュージーランド等である。現在、資源量は処女資源の10%~20%のレベルにあると推測されている(水産庁, 1998)が、このような状況に対し、本種の資源管理体制の早急な確立が望まれている。特に、幼魚の加入量の動向をモニターする手法の開発がミナミマグロ資源研究の最優先課題となっている。

このような背景のもと、平成5年度から海洋水産資源開発センターでは、水産庁からの委託事業として、

西オーストラリア沿岸におけるミナミマグロ幼魚の資源加入量を推定するための音響調査を実施してきた。当初は、調査法としてソナーでミナミマグロの魚群を発見し、計量魚探で魚群量を推定する方法の可能性について検討した。しかし、ミナミマグロは遊泳速度が速く、調査定線において魚群が船の真下、すなわち送受波器の下を通過することが少ないため、この方法での資源量推定は困難であることが判明した。そこで、ソナーによる資源量推定法の開発に切り替えを行った。その結果、平成7年度にはその手法の使用が実用段階にまで至った(Nishida *et al.*, 1996)。しかしながら、この手法はソナー士がソナー画像より推定したミナミマグロの魚群トン数をもとに資源量推定を行うため、その推定精度に関して科学的根拠に基づき検証することが必要となる。そこで、ソナー士による推定精度を検証するために、計量魚探を用いてミナミマグロ幼魚の魚群密度の推定を行うことになった。

計量魚探による密度推定を行うにあたり、その対象となる生物のターゲットストレングス(TS)の決定が必要不可欠となる。

1998年11月11日受付, 1999年1月5日受理

\*<sup>1</sup> 北海道大学水産学部

Faculty of Fisheries, Hokkaido University,  
3-1-1, Minato-cho, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

\*<sup>2</sup> 遠洋水産研究所

National Research Institute of Far Seas Fisheries,  
5-7-1, Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan

実験イケース内のミナミマグロ *Thunnus maccoyii* 幼魚のターゲットストレングスの直接測定

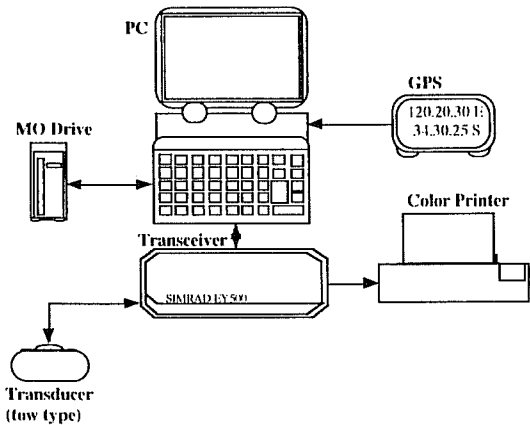


Fig. 1. Composition of the quantitative echo sounder system for TS measurements of southern bluefin tuna.

平成7年度には水産工学研究所(水工研)の協力のもと、大型水槽(淡水、縦15m×横10m×水深10m)内でのミナミマグロのTSの制御測定および解析を行った(Nishida *et al.*, 1996). その報告によると、ミナミマグロ幼魚(2歳魚程度まで)は鰾が未発達でありこの時期のミナミマグロは無鰾魚として取り扱わなければならないとしている。これは、ミナミマグロの $g$ (密度比)および $h$ (音速比)は有鰾魚のそれと比較して非常に小さく、淡水中と海水中ではTS測定誤差が大きくなることを示している。すなわち、Nishida *et al.* (1996)によるTS測定結果は、淡水水槽で行っていることもあり、その結果を密度推定に使用することはその推定値に大きな誤差を生じさせる危険をとまなうことを示唆している。

以上のように平成7年度には、密度比 $g$ および音速比 $h$ の問題を解決するには海水での測定が不可欠であるとの結論が得られたので、翌年の平成8年度には調査現場において、制御法による死んだミナミマグロのTSの計測を実施した(Miyashita and Inagaki, 1997). しかしながらこの結果もまた、気泡の付着や測定時の姿勢状態が不明確であることにより、十分な結果を得るにいたらなかった。

そこで、平成9年度は、測定用に設計作成した実験イケース内で、遊泳状態にあるミナミマグロのTS測定を行った。

## 2. 方法

TS測定実験は、1998年1月下旬から2月中旬にか

Table 1. Characteristics of echo sounder (SIMRAD, EY 500) used in TS measurements

Specifications	Values
Frequency	70 kHz
Pulse length	Medium (1.2ms)
Athwartships half-power angle	12.47 degrees
Athwartships offset	0.10 degrees
Alongships half-power angle	12.47 degrees
Alongships offset	-0.06 degrees
Cut off beam angle	-16.7 dB

けて、西オーストラリア州エスペランス港の岸壁(水深13m)で行った。音響システムの概要をFig.1に示す。測定に使用した計量魚探システムは、SIMRAD社製EY 500スプリットビーム型計量魚群探知機であり、その周波数は70kHzの単周波である(魚探の仕様はTable 1に示す)。本システムはメインの音響調査においてミナミマグロの魚群密度測定に使用したもので、魚探部は、パソコン(制御部・管理部・表示部)、トランシーバ、TDから成る。その他の構成部分は、GPS、カラープリンター、MOドライブからなっている。なお、本システムにより得られたTSはスプリットビームにより位置の補正を施したものであり、本報告では音軸上を通過したターゲットと同等のTSとして取り扱った。

ミナミマグロの測定方法をFig.2に示す。送受波器固定用の鉄枠の下部に送受波器を固定し、実験イケース(直径5m×深さ10m)の中に送受波器全体が沈むまで入れ、その中にいるミナミマグロの測定を行った。なお、較正は実験イケースの中に入れる前に、鉄枠の四隅からテグスをとり、較正球(直径32.0mm、銅製)を吊して毎回TS測定前に行った。

測定に使用したミナミマグロは、定線調査中に曳縄及び一本釣りて採集したもので、海水を循環させた魚槽に、5~10個体入れて岸壁まで運搬した。ミナミマグロはストレスに強く、魚槽の中に過密に入れない限り死ぬことも少なかった。また、岸壁で実験イケースに移してから、状態の良い個体は一週間程度生存しており、今回の測定に支障をきたすことはなかった。

本調査海域にこの時期分布しているミナミマグロのサイズ(尾叉長)は、50cm前後(1歳魚)のもの70cm前後(2歳魚)のものに大別することができるので、TS測定はこの2つのサイズにわけて行った。すなわち、50cm前後のものを測定A、70cm前後のものを測定Bとした。また、実験イケースに入れたミナ

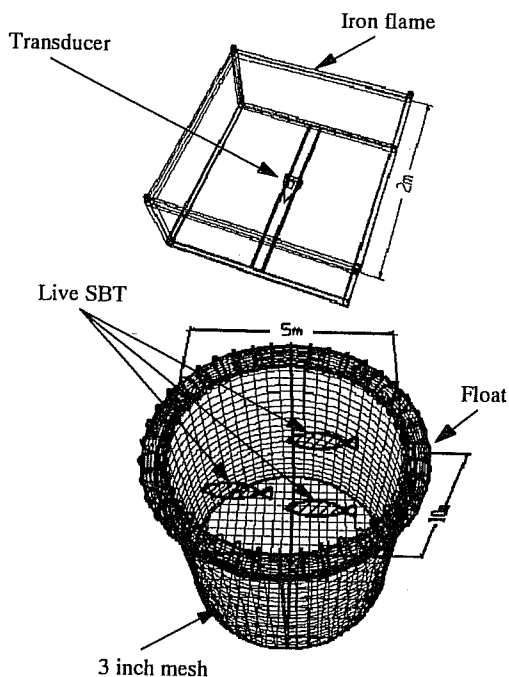


Fig. 2. Arrangement for TS measurements of southern bluefin tuna (SBT). Upper is the transducer with iron flame. Lower is the experimental cage in which the transducer was set.

ミマグロの個体数は、測定Aで7個体、測定Bで4個体であり、可能な限りサイズの揃ったものを使用した。使用したミナミマグロのサイズ組成等を Table 2 に示す。測定終了後における生存個体数は、測定Aで4個体、測定Bで2個体であった。

各サイズの測定において、昼夜によるTSの変化が見られるかどうかを検証するために、測定の時間帯は、昼間と夜間にそれぞれ30分～2時間程度の間連続してサンプリングを行い、リアルタイムで光磁気ディスク(MO)に収録した。また、時間に余裕のある場合には夕まзめの時間帯(日没前後1時間)にもサンプリン

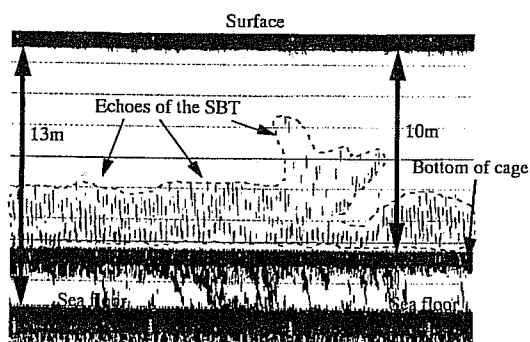


Fig. 3. Example of the echoes of southern bluefin tuna(SBT).

グを行った。結果、測定は昼夜、夕まзめあわせて測定Aで5回、測定Bで6回行った。

以上のようにMOに収録した音響データの解析は、後処理ソフトEP 500 (SIMRAD社製)を使用して行った。このソフトは、EY 500が作成するエコーデータの処理を行うためのもので、TS解析・エコー積分等の自動処理が可能である。本解析ではEP 500を使用して、個々のミナミマグロのTSを検出し、それらのTSの平均値を算出する処理を行った。

### 3. 結果

得られたエコーグラムの一列を Fig. 3 に示す。海底から3mの付近に使用した実験イケスの底の部分のエコーが連続してみられ、その底付近にミナミマグロのエコーが散発的に現れているのがわかる。このようなエコーグラムが得られたのは、ミナミマグロが常にビームの中に存在するのではなく、遊泳しながらビームを横切っているためだと考えられる。これは、実験イケス内ではミナミマグロは円を描く様にほぼ一定の速度で遊泳しているのが目視で観察されていることからそのように考えられる。また実験イケスに移動した直後、あるいはミナミマグロの生存確認のために実験イケスに人が潜った時を除き、基本的にはいずれの測定

Table 2. Summary of length and weight of southern bluefin tuna used in TS measurements. FL is fork length and values within parentheses are measurements for live fish

Measurement	No. of individuals	Mean FL ±SD cm	Mean weight ±SD kg
A	7 (5)	52.3 (52.6) ±2.8 (±3.3)	2.6 (2.7) ±0.6 (±0.7)
B	4 (2)	71.9 (72.6) ±10.1 (±14.7)	10.9 (11.1) ±3.6 (±4.8)

実験イケース内のミナミマグロ *Thunnus maccoyii* 幼魚のターゲットストレングスの直接測定

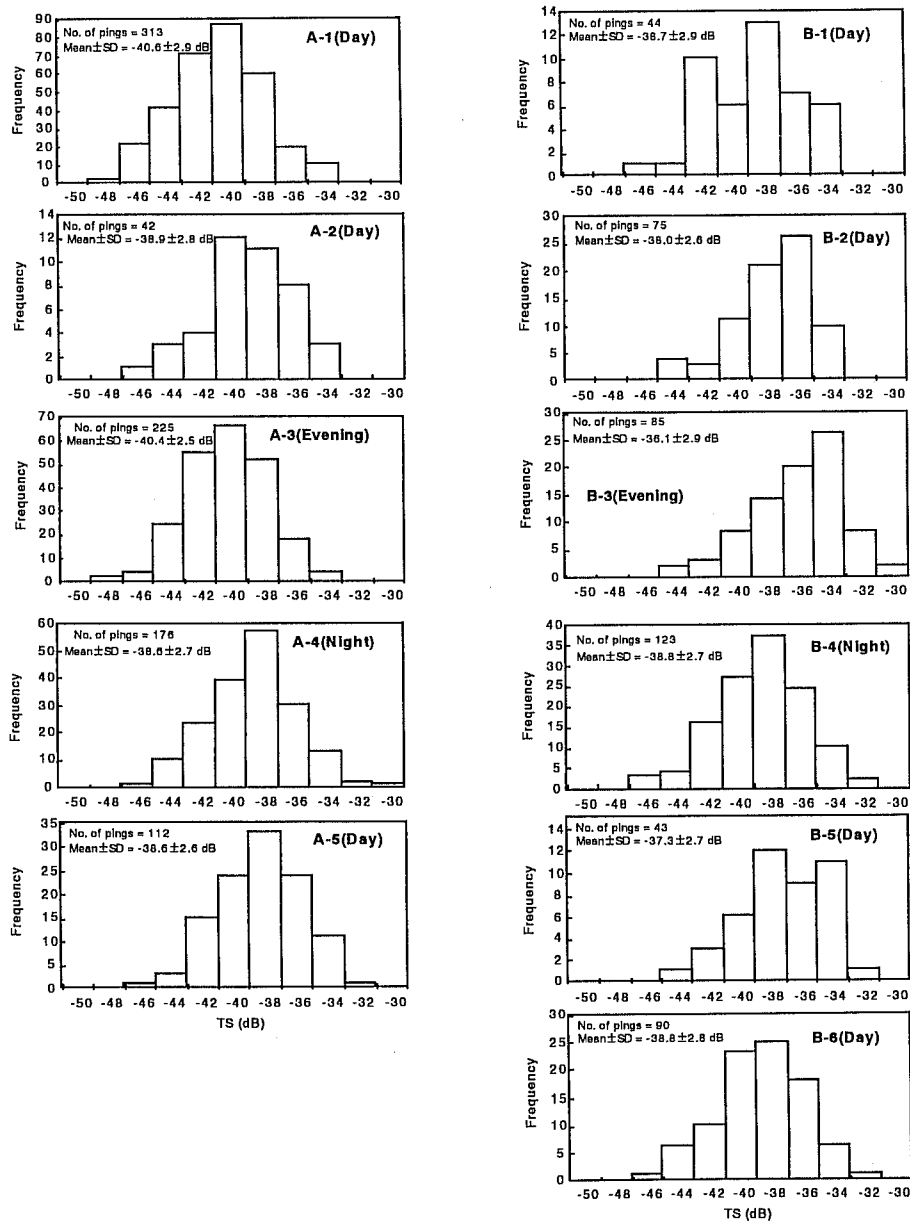


Fig. 4. Diurnal variations of the TS distribution from measurements for southern bluefin tuna. (A: fork length (FL) near 50cm, B: near 70cm)

で得られたエコーグラムもこの様な傾向を示した。

測定時間別の TS の頻度分布を Fig. 4 に示す。測定 A で得られた分布は、昼夜に関係なく単峰型を示し、それぞれの TS 平均値は -40.6 dB ~ -38.6 dB であった。一方、測定 B で得られた分布も昼夜に関係なく単峰型を示したが、サンプル数が少ない測定ではその形状が

多少ばらついたものになった。また、それぞれの TS 平均値は -36.1 dB ~ -38.8 dB であったが、夕まずめ (B-3) のものだけが他より 1 dB ~ 2 dB 大きい値であった。以上の結果が示すように、本実験においては昼夜、夕まずめなどの時間帯による平均 TS の有意な変動は、一部を除いてみられなかった。

Table 3. Summary of TS measurements

Measurement	No. of samples	Mean TS±SD	Mean TS <sub>cm</sub>
A	868	-39.7±2.9 dB	-74.1 dB
B	458	-37.9±2.9 dB	-75.1 dB

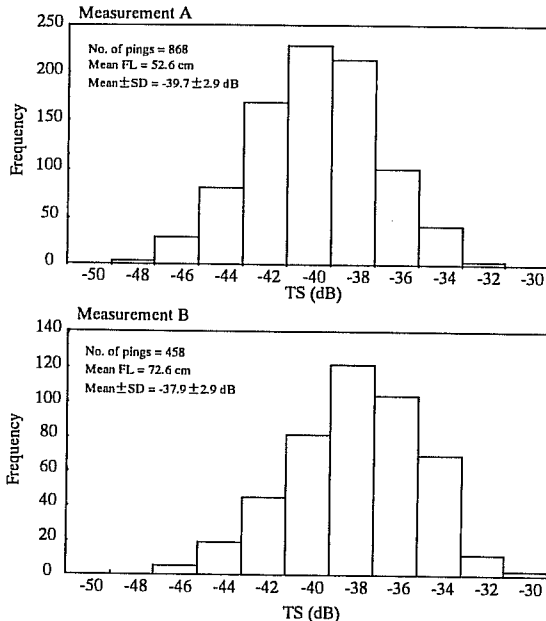


Fig. 5. TS distribution of southern bluefin tuna from all the measurements. (A: fork length (FL) near 50cm, B: near 70cm)

時間帯に関係なくサイズ別にまとめた TS 測定の結果を Table 3 と Fig. 5 に示す。時間帯別の個々の測定結果 (Fig. 4) と比較して、全体の TS 頻度分布はよりきれいな単峰型を示し、その平均 TS は、測定 A で  $-39.7$  dB、測定 B で  $-37.9$  dB となり、平均 TS<sub>cm</sub> (尾叉長 1 cm あたりの反射強度) はそれぞれ、 $-74.1$  dB、 $-75.1$  dB となった。また、使用した周波数が異なり単純には比較できないが、昨年度の制御測定結果よりも TS<sub>cm</sub> にして 6~8 dB 小さい値であった (昨年使用した魚探の周波数は 38kHz、今年度は 70kHz と異なる)。

#### 4. 考察

Foote and Traynor (1988) は、周波数 38kHz において自然遊泳状態のスケトウグラの平均 TS<sub>cm</sub> の推定値と、理論モデル (Foote, 1985) により求めた平均 TS<sub>cm</sub> の推定値 ( $-66$  dB) との比較を行っており、その推定結果が良く一致したことを報告している。また、Miyanohana *et al.* (1990) も魚種に関わらず周波数

50kHz~100kHz では TS<sub>cm</sub> が  $-66$  dB ~  $-68$  dB であると報告している。しかしながら、今回得られた値はそれよりも 10dB 近く小さい値であった (Table 3)。これは、ミナミマグロ幼魚の鰾が未発達であることが起因しているものと考えられる。すなわち、鰾による反射の影響が少ないミナミマグロ幼魚は、必然的にその反射強度が同サイズの有鰾魚よりも小さくなると判断することができる。また、Kloser (1997) は、本実験と同様に実験イカスを用いて平均サイズ 106cm (平均体重 25.7kg、周波数 70kHz) の直接推定を行っており、その平均 TS<sub>cm</sub> は  $-69.7$  dB であると報告している。この測定結果は、本実験で得られた結果より 4dB~5dB 大きい値になっている。すなわち、Kloser (1997) が測定したサイズの個体は、鰾が形成される過程にあると考えられる。しかしながら、ミナミマグロの鰾の発達に関する報告例はなく今後、何時どのように鰾が発達していくか調べていく必要がある。

Foote (1980) は、ミナミマグロ幼魚と同じ無鰾魚である大西洋サバの平均 TS<sub>cm</sub> を周波数 38kHz と 120kHz で測定し、 $-70$  dB ~  $-72$  dB であると報告している。さらに、向井ほか (未発表) は、同じく無鰾魚であるホッケの平均 TS<sub>cm</sub> は、周波数 38kHz で  $-75.3$  dB であるという結果を得ている。これは、今回測定したサイズのミナミマグロが、過去に報告されているこれらの無鰾魚とよく一致していることを示している。すなわち、今回得られたミナミマグロ幼魚の TS は、信頼性が高いものであり、個体密度推定等への適用が可能なものと考えられる。ただし、実験イカスで得られた TS と、調査中に自然状態で得られた TS が、異なっていることも考えられるため、今後これらのデータの比較を行っていくことが重要である。

次に TS の日変化について考察する。西田ほか (1998) は、ミナミマグロ音響調査において夜間の方が遊泳水深が若干浅いことを報告しており、これはミナミマグロの遊泳行動が昼夜等の時間帯により変化していることを示唆している。すなわち、この遊泳行動の変化が TS に与える影響を大きくする可能性が考えられる。向井ほか (1991) は、マグロとは魚種が全く異なるが、臨湖実験においてケージ内のヒメマスの TS の日変化を観察し、そ

の平均値が朝まずめ時に最も大きくなることを報告している。本実験においても、測定Bの夕まずめの時間帯に得られたTSが他のものと比較して若干大きくなるといった結果が得られた。しかしながら今回の実験では、ミナミマグロを実験イケスに馴致させていないことから、十分な日変化を捉えているとは言えない。したがって、今後、ミナミマグロのTSの日変化を捉えるための精度の高い実験を計画的に行う必要がある。

最後に、本実験で測定したミナミマグロのサイズは、2種類だけであった。したがって、よりミナミマグロのTSの精度を高くする、あるいは成長による鰾の発達過程を捉えるといったことを解決するために、今後、測定するサイズ階級および測定回数を増やすことが重要となるであろう。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり御助言、御協力をいただいた、水産大学校助教授、濱野 明博士に深く感謝する。また、実験の補助に尽力していただいた、たいけい丸船長、漁撈長ならびに乗組員諸氏、乗船調査員諸氏に深く感謝する。さらに、東京都水産試験場大島分場長、堤 清樹氏をはじめ同分場の安藤 和人氏、妹尾 浩太郎氏には、本調査で使用した計量魚探に関して多大にお世話になった。ここに感謝の意を表す。なお本実験は海洋水産資源開発センターの、みなみまぐろ資源加入状況モニタリング調査委託事業（水産庁より委託）の一環として行われたものである。

#### 引用文献

- Foote, K. G. (1980) Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish : A comparison of gadoid and mackerel target strength, J. Acoust. Soc. Am., **67**, 2084-2089.
- Foote, K. G. (1985) Rather-high-frequency sound scattering by swimbladdered fish, J. Acoust. Soc. Am., **78**, 688-700.
- Footte, K. G. and J. Traynor (1988) Comparison of wall eye pollock target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. J. Acoust. Soc. Am., **83**, 9-17.
- Kloser R. (1997) Field report of acoustic measurements made on caged southern bluefin tuna, Report of 9th SBT Recruitment Monitoring Workshop (RMWS/97/16), 9pp.
- Miyanohana, Y., K. Ishii and M. Furusawa (1990) Measurements and analyses of dorsal-aspect target strength of six species of fish at four frequencies. Rapp. P. -v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., **189**, 317-324.
- Miyashita, K. and T. Inagaki (1997) TS measurement of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in Western Australia. Report of 9th SBT Recruitment Monitoring Workshop (RMWS/97/19), 5pp.
- 向井 徹・飯田浩二・佐野典達 (1991) ケージ内魚群からの魚群エコーの日変化について, 北大水産彙報, **42**, 90-97.
- Nishida T., T. Inagaki, H. Kishino, K. Sawada and Y. Miyanohana (1996) Report of the 1996 acoustic survey for juvenile southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in Western Australia : Report of the TS experimental measurements, Report of 8th SBT Recruitment Monitoring Workshop (RMWS/96/5), 33pp.
- 西田 勤・稲垣 正・宮下和士 (1998) まぐろ類等大型浮魚の遊泳深度に関連する研究 (ソナー・魚探), 水産海洋研究, **62**, 273-276.
- 水産庁 (1998) 平成9年度ミナミマグロ資源加入状況モニタリング調査委託事業実績報告書. 東京, 132pp.