

皮刀魚對超音波之單體反射特性研究

李國添·吳滿全·李明安

Studies on the Acoustic Scattering Characteristics of Individual Moonfish

Kuo-Tien LEE*, Mann-Chen WU* and Ming-Anne LEE*

(Received October, 1986)

For the purposes of identification and abundance estimation, the acoustic scattering properties of 3.9-cm to 22.4-cm moonfish sampled in the coastal waters of Western Taiwan were measured. Target specimens were suspended and rotated to accept the ultrasonic pulses with frequency of 200 KHz from various aspect angles, and the backscattering strengths from each aspect angle were measured and analyzed. The results are summarized as following:

1) Polar plots show that the moonfish was omnidirectional in its sound scattering characteristics. The echo level of the dorsal-ventral side (or head-tail aspect) was at least 20 dB below the lateral-flat side aspect echo level. When the target was rotated with roll plane, the distribution of the target strength followed the Rayleigh distribution. This acoustic property of a moonfish patch is characterized by an alternating heavy and light echogram.

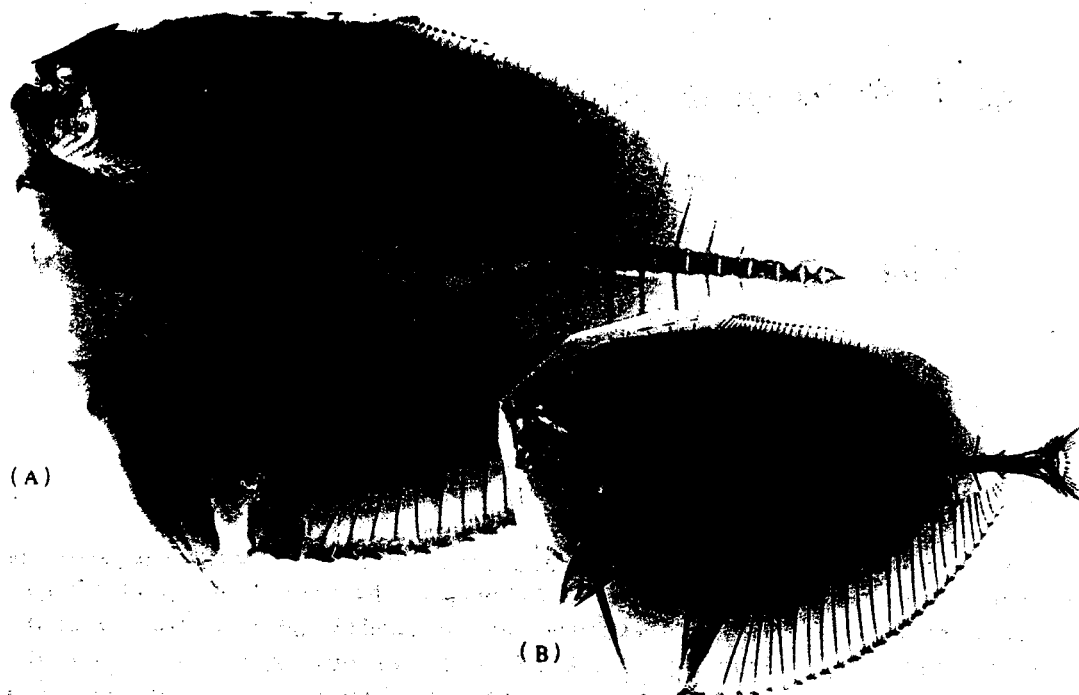
2) The target strength at any aspect angles was dependent on fork length and body weight of moonfish. Hence the mechanical resonances of the moonfish could be negligible. It is possible to estimate the abundance by acoustic methods.

緒 言

單體魚反射特性之究明可作為辨識魚探記錄對象魚種、魚體大小及魚羣定量之基礎^(1,2)；迄今為止，有不少之學者致力於單體反射特性之研究⁽³⁻⁵⁾，但大多是以鮪、鯖、鰹等紡錘魚種為研究對象⁽³⁾；皮刀魚之體形側扁，腹腔呈長垂狀，脊椎骨歪斜，鰻沿脊椎骨下緣兩側向尾部延伸，並且有五根特殊的骨骼以支撐其長垂的腹腔，以保護其內臟 (Plate 1-A)，其體形及內部結構均與紡錘體形之魚族迥異，但其反射特性之研究則尚付闕如。

另一方面，皮刀魚以羣聚 (patch) 之形態分布於本省各地沿海，而以東北部及西部海域產量較多；近年來，由於維持近海鮪延繩釣活餌的皮刀手釣的消極漁法與巾着網之積極漁法兩不相容，皮刀魚資源現存量問題成爲爭執之焦點，然而有關之資源評估資料却十分欠缺。有鑑於皮刀魚有在中上層水域成羣分布之特性，且不易受船舶主機聲之驚嚇而逃逸，適於利用超音波評估其資源現存量。筆者等承農委會之贊助，進行以超音波推定其現存量及分布特性之實驗研究。本試驗爲該計劃之基礎實驗之一，是在水槽內測定各大小不同體長皮刀魚之單體反射特性，以作為定量參數⁽⁶⁾之依據。另一方面，於定量計測實驗時，可否由魚探記錄跡直接判析皮刀魚羣亦在本報告中論及。

* 國立臺灣海洋學院 (National Taiwan College of Marine Science and Technology, Taiwan, R. O. C.)



圖版一 皮刀魚之放射線透視圖

Plate 1. Radiograph of moonfish. A, Fork length 17.5 cm; B, Fork length 11.2 cm

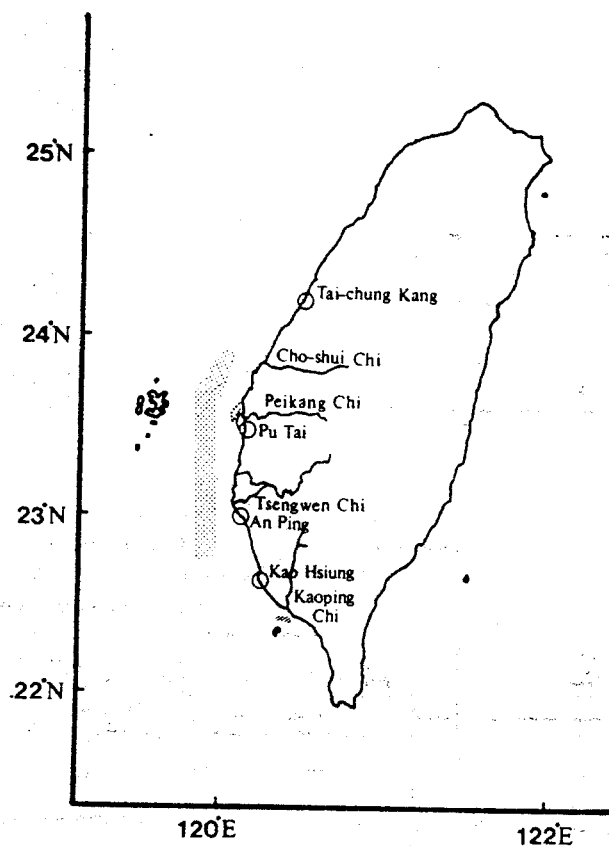
材料及方法

標本魚採集：實驗是 1986 年 2 月至 8 月間，採集體長不同之標本，供各項測試實驗之用。6 公分以上之皮刀魚是利用興達港合春吉巾着網漁船採集的，採集地點是在三條崙至安平間之西部沿海（如 Fig. 1 點狀部份），6 公分以下之皮刀魚則採自東原吉十一號小型單拖網漁船，拖曳地點是高屏溪外一帶海域（如 Fig. 1 線狀部份所示），採獲之標本，立即冰藏，並趕送回本學院，於音響水槽實驗室內立即進行單體反射特性實驗，測試標本共 38 尾，尾叉長由 3.9 至 22.4 公分，其體重 (W) 與尾叉長 (L) 之相關性如 Fig. 2 所示。

測試裝置：測試實驗是在國立海洋學院音響水槽室中之水槽 ($3\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$) 內進行，計測系統及其裝置如 Fig. 3 所示，使用之魚探機是 Furuno Fug-150S 型 Scientific echo-sounder⁽⁷⁾，為了量測及控制反射信號之大小，在其前置增幅器 (Pre-amplifier) 及主增幅器 (Main-amplifier) 間，加一 YHP 4436 型之衰減器 (Attenuator)，衰減範圍由 0 dB 至 119.9 dB，精確度經校正後可達 $\pm 0.2\text{ dB}$ ，另外經由特設之出力端子，用 V_p-546A (National Company) 型之示波器，模擬並讀取單體反射信號之大小。

收發波器用固定架固定於水面下 84 公分處，發射面與水槽壁面平行 (Fig. 3 下方)，測試之標的物 (Target) 則置於離收發波器 1 公尺處之音軸上。皮刀魚做為標的物時係以三條對超音波沒有反射性的尼龍單絲 (直徑 0.4 mm) 懸掛在固定棒的三個固定孔，另端則穿縫在魚體邊緣的三個固定點 (Fig. 3 右上)，靠着手動調整旋轉盤，以模擬超音波以不同角度入射魚體。

測試方法：測定時使用頻率為 200 KHz，脈波幅長 0.25 ms；每次測定前用標的物反射強度 (Target strength) 為 -40.5 dB 之乒乓球⁽⁸⁾作為標準反射體，以置換法求取測試系統之發射音壓 (Source level, 簡稱 SL; Fig. 3 左上)，其後將乒乓球以欲測試之皮刀魚標本置換，做如下之實驗：

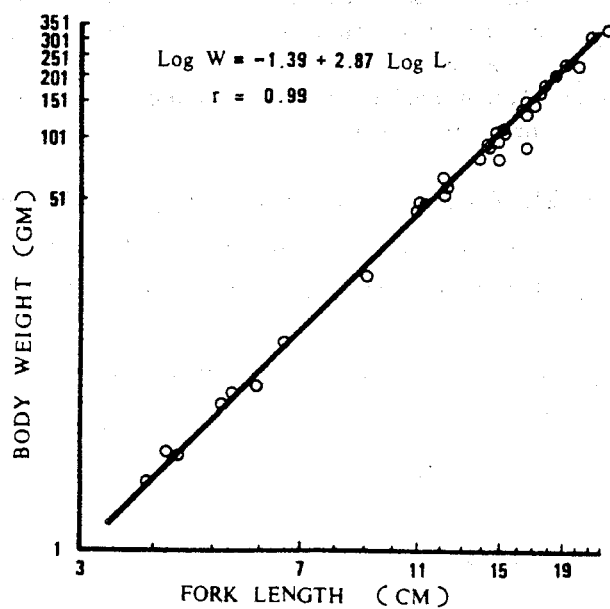


圖一 標本魚採集地點

Fig. 1. Sampling areas for moonfish.

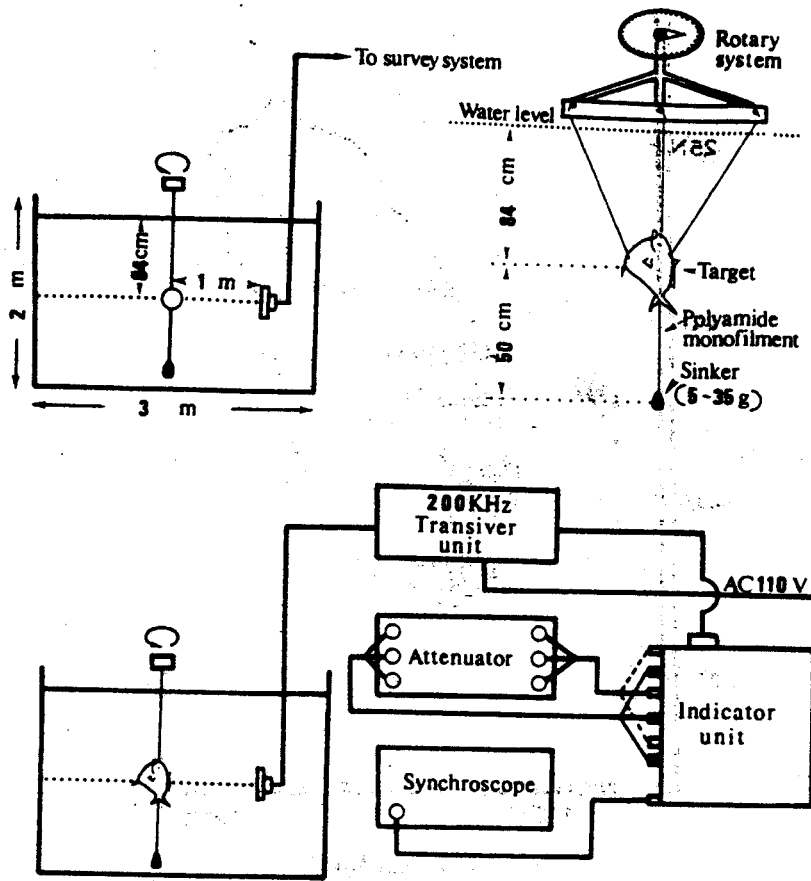
⦿ Purse seine fishery

/// Baby trawl fishery



圖二 標本魚之尾叉長及其體重關係

Fig. 2. Weight-fork length relation for moonfish.



圖三 實驗配置圖

Fig. 3. Scheme showing the side view of the experimental arrangement.
 Upper right: The suspension used to support the target.
 Upper left: Set up for measuring the source level of the survey system.
 Lower: Experimental set up for measuring the source level of the survey system.

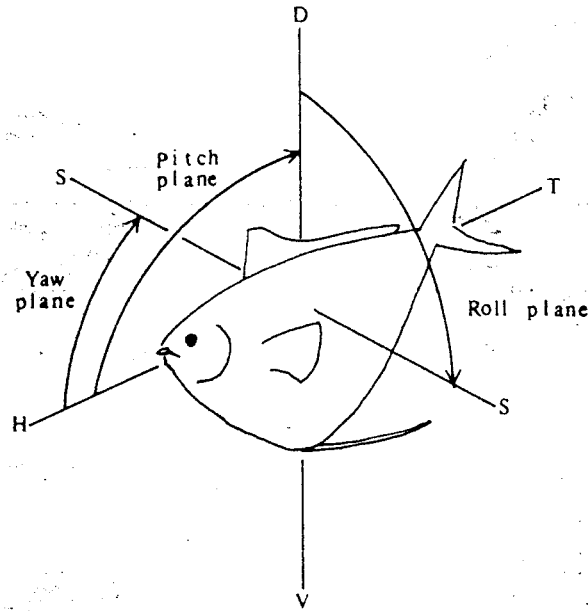
1. 如 Fig. 4 所示，分別模擬並測定皮刀魚受海潮流影響而左右晃動 (Roll plane; Fig. 4)，魚體以不同角度上浮或下沉進入音束平面 (Pitch plane; Fig. 4) 以及魚體由不同部位進入音束平面 (Yaw plane; Fig. 4) 時之單體反射特性。測定時，旋轉盤由 0° 至 360°，每轉一次五度 (Fig. 3 右上)。

2. 4 月間是側扁體形皮刀魚與紡錘體形之鯖魚、鐵甲魚等混獲之季節。本研究分別採集鯖魚 (Spotted mackerel) 及皮刀魚，以側傾面 (Roll plane) 旋轉測定其反射特性，並加以比較分析。

3. 以側傾面測定各大小不同皮刀魚之反射強度之大小，並究明魚體各部位反射強度與體長之相關性。

反射強度大小之測定是把反射信號顯示在示波器上，然後一面調整衰減器之衰減度量，一面檢視示波器，直至標之物之反射信號消失，即落在發射基線 (Base line) 上為止，此時衰減器之讀數稱為回音強度 (EL)，而標之物反射強度為

$$T_s = EL - SL^{(*)}$$



圖四 用懸垂法模擬超音波以不同平面入射魚體

Fig. 4. The planes of rotation with respect to the fish (H: head, T: tail, S: side, D: dorsal, V: ventral).

結 果

一、皮刀魚在三個模擬平面上的反射特性

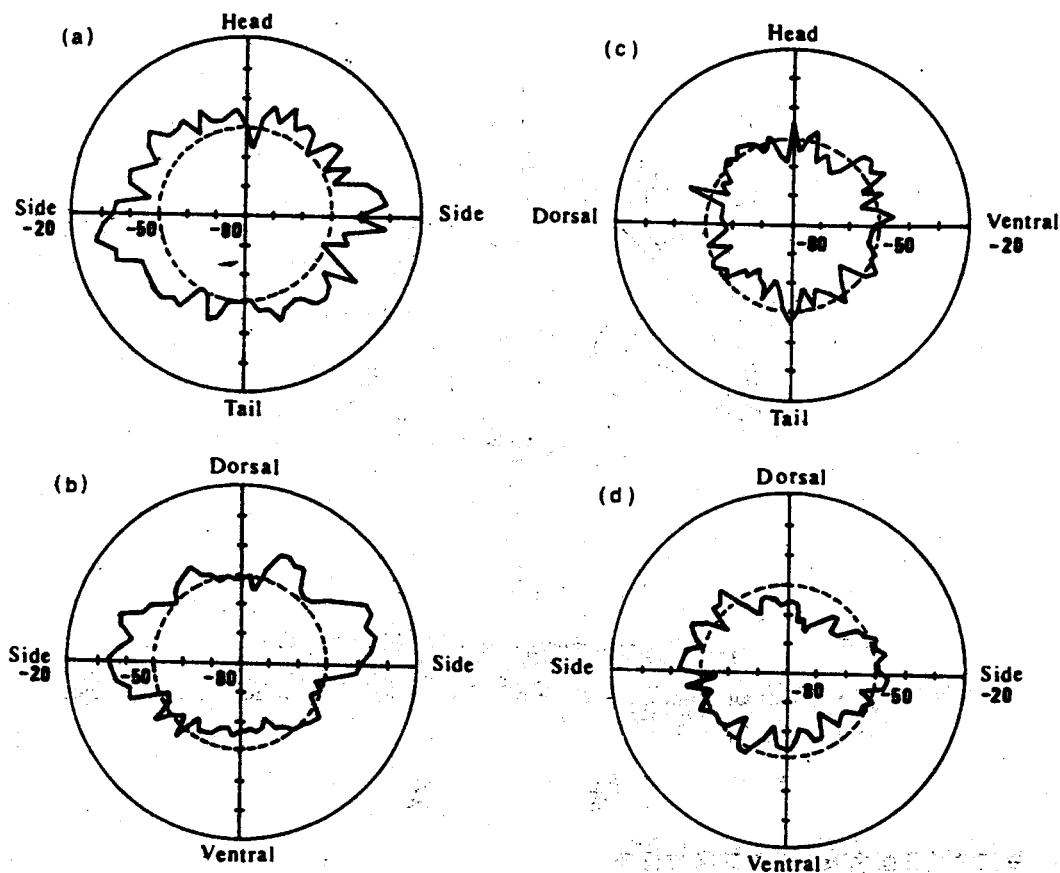
模擬超音波在三個不同平面上，以不同角度入射皮刀魚 (Fig. 4)，其結果以尾叉長 21 公分的測定結果為例，示之於 Fig. 5-a, b, c，圖中之實圓和虛圓分別代表 -20 dB 及 -50 dB 等音壓強度平面，測定結果顯示，三個模擬平面上，反射強度均隨超音波入射角度之不同而變動。在俯仰面 (Pitch plane) 時，入射角度之改變侷限於頭尾部及背腹部，其反射強度在 -50 dB 等音壓強度平面上上下變動，即其變動幅度不大，而在側傾面及橫搖面 (Yaw plane) 時，背、腹或頭尾亦在 -50 dB 等音壓強度平面附近緩和變動，但入射魚體之側扁部位時，其反射強度明顯的高於背腹部或頭尾部。

二、皮刀魚及鯖魚反射特性之比較

就背腹側反射強度之比較而言 (Fig. 5-b, d)，體長大略相同之鯖魚 (鱧比皮刀魚小得多) 與皮刀魚之差異不顯著。但超音波入射皮刀魚左右兩側扁部位時，其反射强度高於背腹側 20 dB 以上，而鯖魚左右兩體側之反射強度較背腹側只稍大而已 (10 dB 左右)。而且皮刀魚側扁部之反射強度是普遍的大，而鯖魚兩側之反射強度變動較頻繁 (Fig. 5-d)，這可能是在計測側扁體形之皮刀魚時，超音波入射鰓、內臟、骨骼之機會較大之故。尾叉長 22.4 公分之鯖魚與尾叉長 21 公分之皮刀魚在側傾面下測得反射強度之頻度分布圖例，如 Fig. 6 所示，側扁體形之皮刀魚呈 Rayleigh 分布之傾向，而紡錘體形之鯖魚則傾向於正規分布。

三、皮刀魚反射強度與其體長、體重之相關性

在側傾面下，超音波以不同之入射角入射 38 尾大小不同之皮刀魚，利用分散分析法檢定各方向角 (aspect angle) 之標物反射強度 (Ts) 與標本魚尾叉長之關係，其結果示之於 Table 1，顯示在側傾面下，皮刀魚在各方向角之反射強度與魚體尾叉長成正相關，而且配合解剖及放射線圖片 (Plate 1) 觀察皮刀魚之結果，發現當超音波入射鰓、骨骼及內臟時，其 Ts 大，且 Ts 與體長之相關係數亦較高，由 Table 1 可知用 200 KHz 計測皮刀魚羣時，不會有共振 (resonances) 現象發生^(9,10)。



圖五 不同旋轉平面上超音波反射特性之極座標表示圖 (每轉一次為 5 度)

Fig. 5. Polar plot of target strength in three rotative planes taken at 5° intervals for scale-model-fish.

d: Spotted mackerel (22.4 cm fork length)

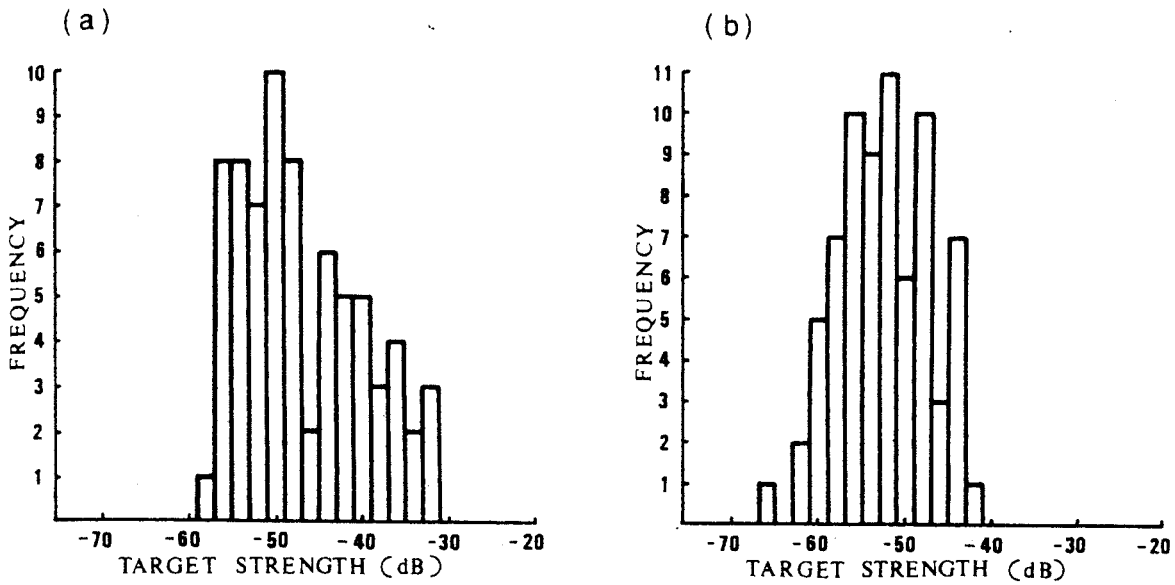
a, b, c: Moonfish (21 cm fork length)

a: Yaw plane b, d: Roll plane c: Pitch plane.

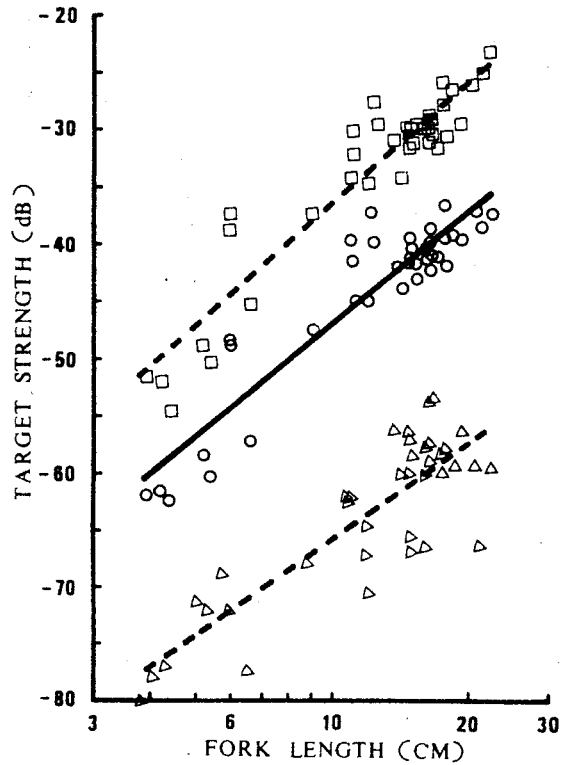
Fig. 7 則是分別表示在 Roll plane 下的最大、最小及平均 Ts 與皮刀魚尾叉長之相關性回歸方程式及 F 檢定，因為呈現明顯之正相關，故今後在從事音響計測時，如能配合漁獲，知道魚探記錄魚體之大小，以之作爲定量參數來計測現存量是可行的^(6,9)。另一方面，因為皮刀魚之尾叉長與側扁面之面積及體重等相互間亦呈高度之正相關 (Fig. 2, Table 2; 注脚)，所以如 Table 2 所列示，在 Roll plane 下，最大、最小及平均 Ts 與側扁面之截面積或體重間經檢定結果，亦呈正比關係。

結論與討論

皮刀魚因體形側扁，腹腔呈長垂狀，脊椎骨歪斜，鰻沿脊椎骨下緣兩側向尾部延伸，有五根特殊的骨骼以支撐其長垂的腹腔，並保護其內臟，故當超音波入射在兩側扁面時之反射強度遠大於背腹部及頭尾部之反射強度，而其側扁且近圓之體形，游泳速度不快，易受海潮流之影響而左右晃動，執是之故，皮刀手釣停船作業時，因其游速慢，故魚探記錄呈橫型記錄，而且有濃淡相間之現象 (Plate 2)，於航進間探測魚羣時，皮刀魚也以羣聚之形態在記錄紙上呈現濃淡相間的縱型記錄跡 (Plate 3)，而且魚體愈大，濃淡相間愈明顯 (Plate 4)，但巾着網漁船在同一海域之其他紡錘體形的對象魚種如成仔魚、鐵甲魚、鯖魚 (Plate 5) 等雖亦呈縱形記錄跡，其尾部因體反響 (Volume reverbera-



圖六 以側傾面旋轉時，鯖魚及皮刀魚反射強度的頻度分布圖
 Fig. 6. The target strength measured with Roll plane in 2 dB cells versus frequency of occurrence.
 a: Moonfish (21 cm fork length).
 b: Spotted mackerel (22.4 cm fork length)



圖七 側傾面旋轉測定之最大、最小及平均標的物反射強度與尾叉長之相關性。
 Fig. 7. The relationship between the target strength (Ts in dB) and fork length (cm) of moonfish.
 □---□ Maximum Ts measured in roll plane.
 ○---○ Average Ts measured in roll plane.
 △---△ Minimum Ts measured in roll plane.

表一 皮刀魚各方向之反射強度與其尾叉長之相關性檢定表

Table 1. Test results of the correlation between fork length in logarithm and target strength (in dB) at various aspect angle of moonfish set in roll plane

Aspect angle	Correlation coefficient	F value*	Aspect angle	Correlation coefficient	F value*
5	0.80	64.34	185	0.75	45.20
10	0.75	46.96	190	0.74	43.36
15	0.73	40.95	195	0.75	46.67
20	0.70	34.27	200	0.68	31.00
25	0.73	41.71	205	0.70	34.00
30	0.76	49.09	210	0.71	36.02
35	0.82	77.24	215	0.73	41.78
40	0.76	48.90	220	0.77	51.53
45	0.85	95.40	225	0.75	46.38
50	0.79	58.37	230	0.67	28.71
55	0.71	36.81	235	0.77	53.50
60	0.62	22.38	240	0.67	29.39
65	0.66	27.91	245	0.75	46.79
70	0.68	31.37	250	0.60	20.24
75	0.70	34.41	255	0.41	7.36
80	0.77	52.98	260	0.54	14.58
85	0.79	61.51	265	0.65	26.46
90	0.80	66.26	270	0.76	48.44
95	0.88	117.68	275	0.77	51.77
100	0.85	92.16	280	0.71	36.12
105	0.82	76.16	285	0.64	25.02
110	0.80	65.64	290	0.65	27.00
115	0.78	55.66	295	0.71	35.80
120	0.76	48.96	300	0.70	34.50
125	0.77	51.62	305	0.73	42.16
130	0.78	56.72	310	0.76	50.53
135	0.76	48.04	315	0.77	51.49
140	0.81	69.24	320	0.80	64.97
145	0.82	76.80	325	0.83	77.72
150	0.82	71.66	330	0.76	47.81
155	0.84	89.27	335	0.77	54.08
160	0.78	55.78	340	0.81	70.70
165	0.73	41.31	345	0.78	54.49
170	0.81	68.82	350	0.84	88.30
175	0.76	48.67	355	0.85	93.76
180	0.76	49.45	360	0.76	49.16

*: Degrees of freedom=36, 5% Level of significance=4.13.

表二 側傾面旋轉測定時，皮刀魚尾叉長、體重、側扁面積與最大、最小及平均標的物反射強度間之相互關係

Table 2. Regression equations bwtween acoustic components (Ts in dB) and biological components

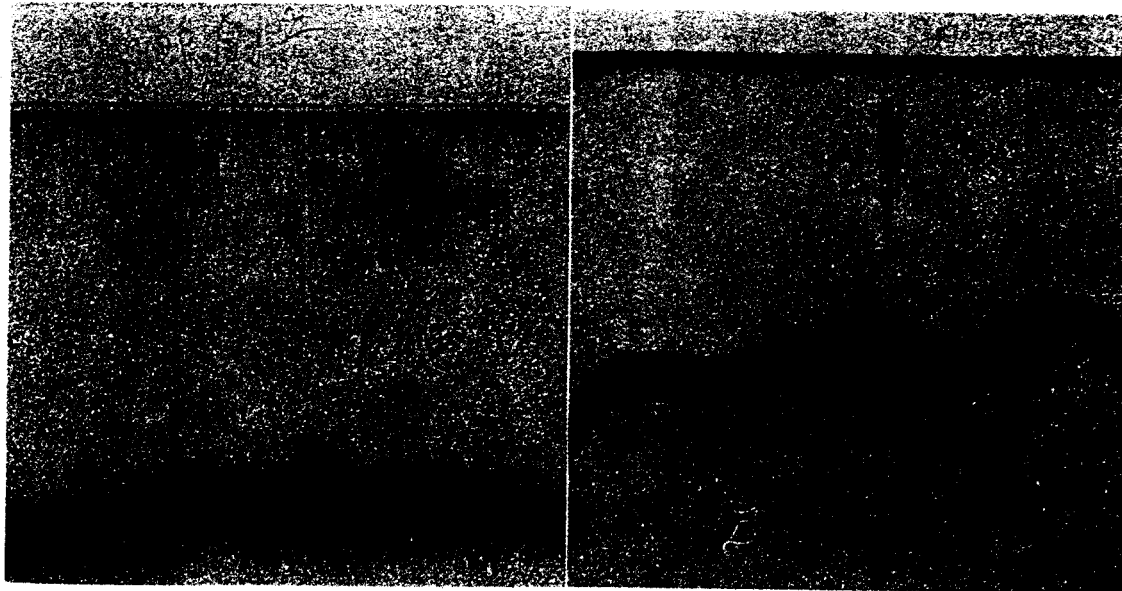
Acoustic component	Biological component	Regression equation	Correlation coefficient	F value*4
maximum Ts	fork length (L, cm)	$Ts = -71.71 + 35.39 \log L$	0.89	247.63
average Ts	fork length	$Ts = -79.41 + 32.59 \log L$	0.86	210.37
minimum Ts	fork length	$Ts = -93.47 + 27.89 \log L$	0.79	90.19
maximum Ts	weight*1,3	$Ts = -54.38 + 12.22 \log W$	0.73	222.18
average Ts	weight (W, g)	$Ts = -63.36 + 11.19 \log W$	0.68	179.60
minimum Ts	weight	$Ts = -79.70 + 9.56 \log W$	0.59	81.82
maximum Ts	side area*2,3	$Ts = -75.47 + 22.80 \log SA$	0.81	177.36
average Ts	side area (SA, cm ²)	$Ts = -82.77 + 20.94 \log SA$	0.78	151.99
minimum Ts	side area	$Ts = -94.54 + 16.94 \log SA$	0.64	55.12

*1: $\log W = -1.39 + 2.87 \log L$ ($r=0.99$)

*2: $\log SA = 0.27 + 1.46 \log L$ ($r=0.96$)

*3: $\log W = -1.67 + 1.82 \log SA$ ($r=0.97$)

*4: Degrees of freedom=36, 5% Level of significance=4.13



圖版二 皮刀手釣停船作業時之皮刀魚羣魚探橫型記錄跡

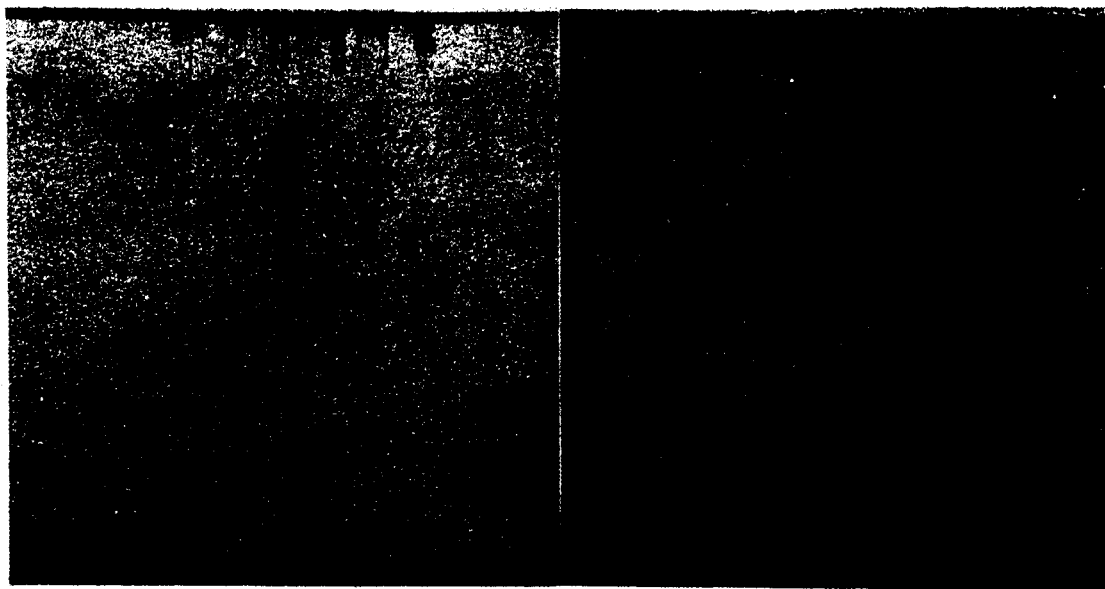
Plate. 2. Echogram of moonfish patch (mean fork length 15 cm) taken from a stationary vessel in coastal water of western Taiwan in March, 1986.

圖版三 小型巾着網漁獲中型皮刀魚羣時之魚探縱型記錄跡

Plate. 3. Echogram of moonfish (mean fork length 16 cm) taken from a running vessel in coastal waters of western Taiwan in April, 1986.

tion) 而較淡⁽¹⁰⁾，但無明顯之濃淡相間現象，故如使用相同之魚探機，其記錄紙速度調整稍快，應該很容易從魚探機之記錄跡上辨識出皮刀魚。

超音波入射在皮刀魚體不同部位時，其反射強度雖不同，但以同一方向入射不同體長之魚體時，其反射強度與體長、體重及側扁面之截面積等均呈正相關 (Fig. 7; Tables 1 and 2)，但其相關係



圖版四 小型巾着網漁獲大型皮刀魚羣時之魚探縱型記錄跡

Plate. 4. Echogram of moonfish (mean fork length 21 cm) taken from a running vessel in coastal waters of western Taiwan in July, 1986.

圖版五 小型巾着網漁船漁獲鯖魚時之魚探縱型記錄跡

Plate. 5. Echogram of spotted mackerel patch (fork length 22 cm) taken from a running vessel in February, 1986.

數不若其他生物因子間之相關係數高 (Table. 2), 這可能是因為皮刀魚對超音波具有高度之方向性⁽²⁾, 而本實驗是以懸垂法懸垂皮刀魚, 並旋轉魚體以模擬超音波入射不同部位之魚體, 故入射方向稍有誤差, 即造成反射強度測定之誤差, 建議今後之實驗設置應改為魚體不動, 用旋轉收發波器來達成調整音波入射魚體方向之目的。所幸, 本實驗結果之統計檢定的信賴度相當高, 故其定性、定量意義是不容置疑的。

超音波入射皮刀魚之不同方向時, 所測得之最大、最小及平均標的物反射強度與尾叉長、體重等均呈正相關 (Fig. 7, Table. 2), 故皮刀魚對 200 KHz 之頻率並不含有共振現象^(9,10)發生, 故以羣體之反射強度做定量計測是可行的⁽⁹⁾, 問題是皮刀魚易受海潮流影響而左右晃動, 故如 Fig. 7 所示, 最大、最小及平均 Ts 之間歸直線間應如何取捨? 有待進一步在現場中以活的皮刀魚羣做箱網實驗。另一方面, 如 Fig. 7 所示, 3 條回歸直線並不平行, 此是否如 Plate 1-A, B 所示, 隨着皮刀魚體長之增加, 標的有日漸增大且向尾部延伸之傾向, 有以致之, 尚待今後進一步研究。

摘 要

爲了嘗試能否直接從魚探記錄辨識皮刀魚及究明其標的物反射強度以做爲定量參數。本研究選取尾叉長 3.9 至 22.4 公分之皮刀魚, 在音響水槽實驗室內, 用懸垂法懸掛測試魚體, 並以側傾、俯仰、橫搖等三平面旋轉之, 模擬 200 KHz 之超音脈波入射魚體不同方位時之反射特性。其結果如次:

(1) 超音脈波入射皮刀魚體兩側扁部位時, 其反射強度較背腹部或頭尾部高 20 dB 以上, 在 Roll plane 下, 經測定其反射強度之頻度分布呈 Rayleigh 分布, 此一高度方向性之特性, 加上其側扁體形易受海潮流影響之結果, 使其在魚探記錄紙上呈現濃淡相間之羣聚型縱型記錄跡。

(2) 超音脈波入射在任一方位之大小不同皮刀魚時, 其反射強度與皮刀魚之尾叉長及體重等成正比關係, 故 200 KHz 之超音脈波探測皮刀魚時並無共振現象, 用超音波定量計測是可行的。唯皮刀魚之體形側扁, 成羣之方向性不明, 故羣體之定量反射特性有待進一步之究明。

謝 詞

本報告是 75 農建-7.1-漁-26-7 的一部份，研究期間承蒙農委會陳朝欽技正、水試所李燦然所長，本學院院長及各處室主任暨同仁之支持，方能順利進行。又實驗期間，承蒙合春吉船長薛義勝，東原吉船長吳勝發及全體船員大力之幫忙，本院歐錫祺博士提供有意義之建言及協助，謹致由衷的謝意。

水槽實驗時，漁研所研究生呂學榮、孫芳仁，漁業系學生吳龍靜、劉景輝、陳文毅之鼎力協助，在此一併致謝。

參 考 文 獻

1. MIDTTUN, L. (1982). Fish and other organisms as acoustic targets. Paper presented to the ICES/FAO Symposium on fisheries acoustic. Bergen, Norway, 21-24. June. Doc. No (3) (mimeo). To be published in Rapp. P.-V. Reun. CIEM, 184.
2. FOOTE, K. G. (1979). Fish target strength to length regression for application in fisheries research. Ultrasonics International 79, 15-17. May. Grag, Austria, 327-332.
3. 宮野鼻洋一、石井憲、古澤昌彦 (1983). 魚體の背方向ターゲットストレングスの測定例。水工研技報，4, 95-105.
4. SHIBATA, K. (1970). Study on details of ultrasonic reflection from individual fish. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 29, 1-82.
5. 日本水産工學研究所 (1985). 國內、國外之Ts測定値一覽表——音響資源調査の基本パラメータとしてのTsの手引，178 pp.
6. NAKKEN, O. *et al.* (1983). Symposium on fisheries acoustics. FAO. Fisheries Report No. 300, 331 pp.
7. 歐錫祺 (1980). 魚羣探知機による個體紀錄の反射パルス數に基づく魚羣量推定，東京大學博士論文。211 pp.
8. 李國添、李明安、吳滿全 (1986). 海洋微小游泳動物迅捷評估方法開發之基礎研究，74 年度行政院國家科學委員會專題研究補助計劃成果報告書。No. 1, 24 pp.
9. 李國添 (1985). 音響システムによる海洋生物量のクイックアセメント技法に関する基礎的研究，東京大學博士學位論文。262 pp.
10. MACLENNAN, D. N. (1982). Target strength measurements on metal spheres. Scottish Fisheries Research Report. ISSN 0308-8022, No. 22, 17 pp.
11. 李國添、青山恒雄、稻垣正 (1986). 魚羣對超音波之衰減特性的研究，臺灣水產學會刊，13(1), 21-30.