

## 利用超音波評估臺灣西南沿海皮刀魚 現存量之數理模擬研究

呂學榮\* · 吳龍靜\* · 李國添\* · 歐錫祺\*

### Studies on the Optimum Acoustic Surveying Trackline for Moonfish in the Southwestern Waters of Taiwan by Simulation Method

Shyue-Rong Leu,\* Long-Jing Wu,\* Kuo-Tien Lee\*  
and Hsi-Chi Ou\*

(Received January, 1989)

A simulation for investigating the optimum searching track and distance of echo survey for the moonfish (*Mene maculata*) off the coastal waters of southwestern Taiwan is presented. Echo survey was taken by simulating the clumped distribution of moonfish with equal patch size (Lee *et al.*, 1988) in a given area. Then this area was surveyed with zig-zag, spiral and orthogonal tracks to evaluate the abundance and size of the schools. The zig-zag track with a 10° turning angle (change course) is suggested in the field application.

關鍵詞：水產音響學、資源評估、探測路徑模擬、皮刀魚。

Key words: Fisheries acoustic, Surveying track planning, Biomass estimating simulation, *Mene maculata*.

#### 前 言

利用超音波評估魚羣現存量時，除了作為校準因子 (scaling factor) 之標物反射強度 (target strength) 的量測是影響推測準確度之必要因素 (Lee, 1985; Masahiko, 1983; Inagaki and Aoyama, 1983) 外，魚探船之探測航線與魚羣分布特性之相關性亦是不可或缺之探討課題之一，因為探測船所評估之魚羣量並非調查水域之水平面或立體面之魚羣量，只是探測線上之魚羣量而已，事實上，探測航線若要無一疏漏地覆蓋整個海域，無論在時間、空間或技術上都不可能，因此，將探測線上獲取之線上魚羣量，正確地推測全海域之魚羣量是至為必要的。另一方面，魚羣之形狀、規模及分布特性，隨着魚種、成長階段、環境等諸多條件而變化是可以想像的，因此將魚羣之形狀、規模、魚種、環境因子、分布型式等簡單化，納入電腦中做數理模擬探測，以預測各種不同探測路徑之探測精度，是利用超音波評估魚羣現存量的必要預備實驗，

有關數理模擬探測方面，Ou (1980) 根據單體魚通過不同音束平面位置被記錄之脈波數，解算多元聯立方程式，並利用不同探測路徑之組合，對隨機及集中分布之魚羣作模擬探測，解算不同體長之個體數。Aoyama (1982) 以等圓及等橢圓將魚羣簡單化，以隨機探測路徑對隨機分布之魚羣作模擬

\* 國立臺灣海洋大學漁業學系 (Department of Fisheries, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan, R. O. C.)

探測，估計總魚羣數與魚羣大小，並以不同的探測線數理模擬探討估計總羣數的變化。以上兩種方式中，前一種方式主要是針對單體計數式魚探之探測法而言；而後者則只是對模擬探測法的理論探討而已，忽略了實際上魚羣分布型式、探測路徑、探測線密度等對評估結果之影響。

除了已屆產卵之皮刀魚羣會脫離塊狀分布 (clumped distribution) 而出現在曾文溪以南之海域外，皮刀魚羣夜間羣聚成小羣聚 (patch)，以塊狀分布集中在臺南海盆，尤其是北港溪、八掌溪及曾文溪三條河川入海口之附近水域；其水平分布位置之變動主要為風向、潮差及降雨量之影響，垂直棲息深度變化則受月齡及水溫、鹽度躍層所支配 (Lee *et al.*, 1986, 1988; Leu, 1988)；另一方面，皮刀魚之單羣幅寬之頻度分布是呈 L 字型分布 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)，因此可將皮刀魚羣視為等圓羣 (Aoyama, 1982)。本報告根據前述調查結果，以集中分布來模擬塊狀分布之等圓型皮刀魚羣，利用三種不同的探測路徑作數理模擬探測，檢討估計之總魚羣數及單羣規模之準確度，決定最適探測路徑及探測線密度，藉以提供日後利用超音波評估皮刀魚現存量之根據。

## 材料與方法

### 皮刀魚理論分布之模擬

皮刀魚羣之理論分布可以 Fig. 1 的羣間距比例行之 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)，各單羣視為直徑  $C (=10)$  之等圓羣，首先以亂數產生集中之中心羣，再按 Fig. 1 集中分布之羣間距離的頻度分布圖產生其他等圓羣，其產生步驟如下：

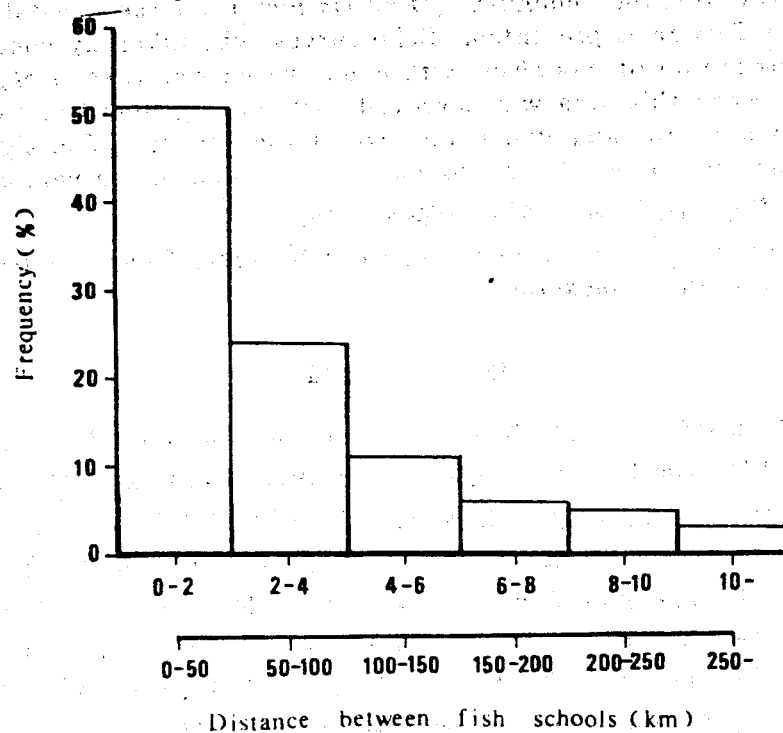


Fig. 1. Frequency distribution of the distance between circular schools of moonfish in simulation depended on the actual distance of schools. Top abscissa: investigation; bottom abscissa: simulations.

- (1) 亂數產生與中心羣 (Fig. 2-a) 之相對角度 ( $0 \sim 360^\circ$ )。
- (2) 在該方向上再以亂數產生與中心羣距離 (圓羣中心至圓羣中心) 在第一種間距內的圓羣。

Echo survey of moon fish

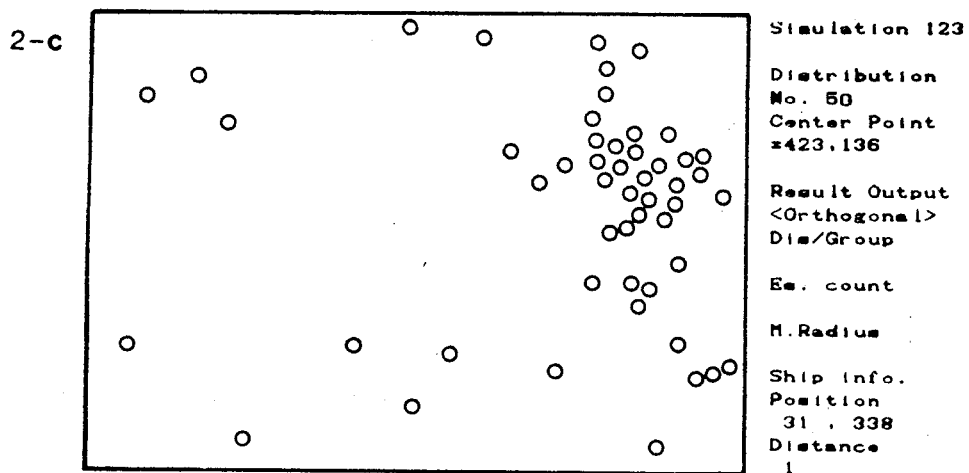
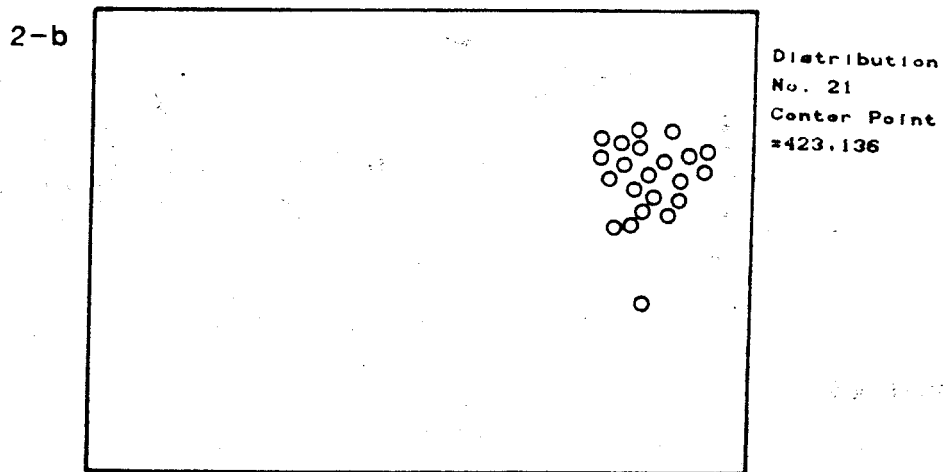
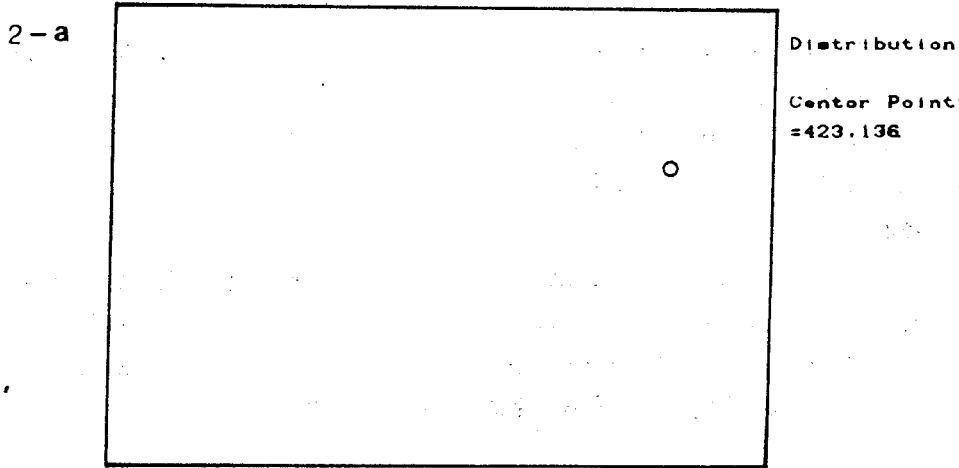


Fig. 2. Progress of generating a clumped distribution of moonfish.

- (3) 檢查產生之圓羣是否與既產生之圓羣相交，若相交，則拒絕本羣，再重複步驟(1)及步驟(2)產生另一羣。
- (4) 重複上述步驟，直至產生之羣數已達第一種間距所佔之比例為止；再以同樣的方法產生第二種間距之圓羣，依此類推 (Fig. 2-b 參照)。

模擬探測海域之大小為  $490 \times 330$  之長方形海域，總羣數共 50 羣 (Fig. 2-c)，羣與羣不相交，羣規模之總面積佔該海域總面積的 2.43%。

#### 探測路徑之模擬

模擬現場評估皮刀魚羣可能利用之探測路徑，分別為矩形 (orthogonal)、鋸齒形 (zig-zag) 及螺旋形 (spiral) 三種，各種探測路徑之探測線密度參數設定如 Fig. 3 所示，其起點  $(X_0, Y_0)$ 、單位航距  $(l_x, l_y, l_z)$  等、轉向角  $(\theta_i)$ 、螺距  $(S)$  等參數均可選擇由程式內定、各別輸入或由一起始值按一定數以迴圈的方式逐漸增加或減少來改變其探測線密度。

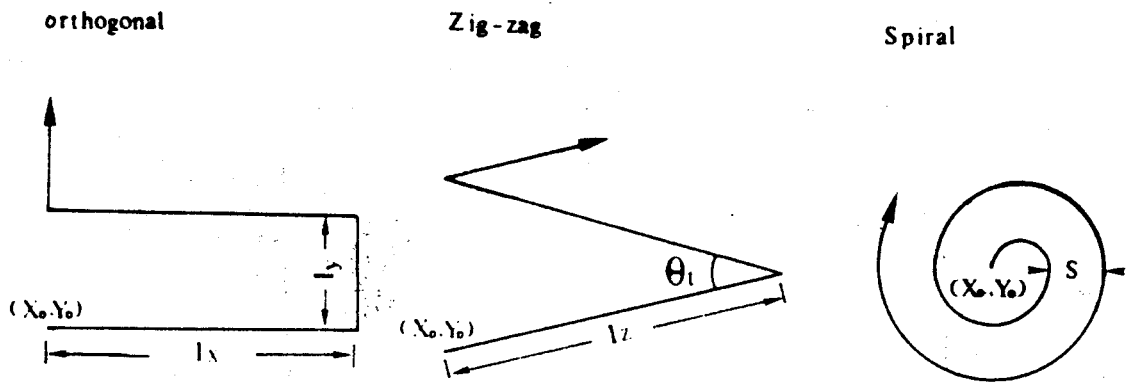


Fig. 3. The parameters in various surveying tracks.

#### 模擬探測之解析推定

直徑為  $C$  之圓羣，切過一圓羣之弦長為  $c$ ，其機率積分函數為  $F(c)$ ，可以下式表示：

$$F(c) = 1 - \frac{\sqrt{C^2 - c^2}}{C} \quad (\text{Aoyama, 1982; Thorne, 1988}) \quad (1)$$

上式弦長  $(c)$  之機率分配圖示如 Fig. 4，計算其平均值  $\bar{c}$  為：

$$\begin{aligned} \bar{c} &= \int_0^C F(c) \cdot c \cdot dc \\ &= \frac{\pi}{4} C \end{aligned} \quad (2)$$

其次，探測船遭遇魚羣的機率為  $t$ ，各探測線段均以直線考慮，則：

$$t = \frac{C}{d} \quad (\text{Doi et al., 1975}) \quad (3)$$

但  $\bar{d}$  是海域內魚羣間之實際平均距離 (羣中心點到中心點的距離)，且  $\bar{d} > C$ 。因此，探測中遭遇魚羣之平均距離以  $\bar{d}_c$  表示為：

$$\bar{d}_c = \frac{\bar{d}}{t} = \frac{\bar{d}^2}{C} \quad (4)$$

## Echo survey of moon fish

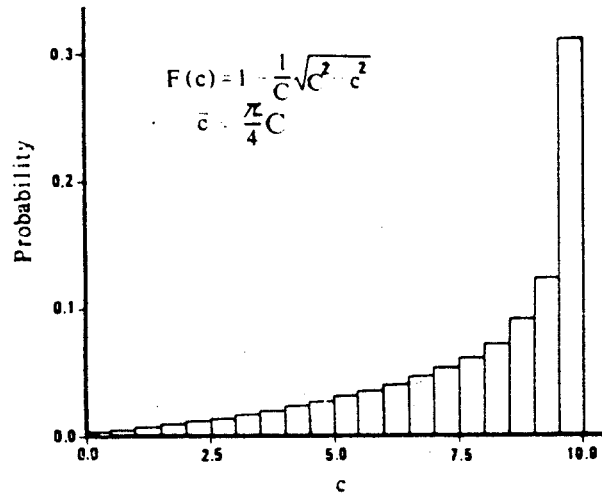


Fig. 4. Histogram showing the probability of chord length ( $c$ ) when a circular school is randomly crossed by a sound beam.

直線航行距離  $D$  (水平或垂直方向上之距離) 所遭遇魚羣的平均羣數以  $\bar{n}$  表示,  $\bar{d} \times D$  海域內存在的羣數為  $N$ :

$$N = \frac{\bar{n}}{t} = \frac{\bar{n} \times \bar{d}}{C} \quad (5)$$

將以上數式整理得:

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \bar{d}_e \bar{c}} \quad (6)$$

$$N = \sqrt{\frac{\pi}{4} \bar{n}^2 \bar{d}_e / c} \quad (7)$$

若模擬探測全海域面積為  $A$ , 則估計之總魚羣數為:

$$N_t = \frac{A \times N}{d \times D} \quad (8)$$

### 模擬計測法

數理模擬探測法之流程如 Fig. 5 所示, 每產生一次集中分布之魚羣後, 立即分別以三種路徑或選擇單一路徑探測, 每當遭遇魚羣時即求取切過圓羣之弦長、遭遇下一魚羣之距離、遭遇魚羣之總數等, 分別計算  $\bar{d}_e$ 、 $\bar{c}$  與  $\bar{n}$  值, 以式 6 及式 7 來求得  $\bar{d}$  與  $N$  值, 再以式 8 求得  $N_t$ , 並同時在監視器上顯示總羣數估計值、圓羣直徑估計值、當時船位及總航程, 直至一種探測法結束時, 再由印表機列印出結果; 程式實際執行情形及執行結果之列印以矩形探測法為例示如 Fig. 6。

## 結 果

### 單羣規模的估計值

Fig. 7 之折線部分為模擬探測所有切過圓羣直徑之頻度分布, 條圖部份為理論計算之頻度分布, 兩者幾乎一致, 顯示模擬探測之執行結果與圓羣被一超音波束切過之弦長的理論計算吻合。

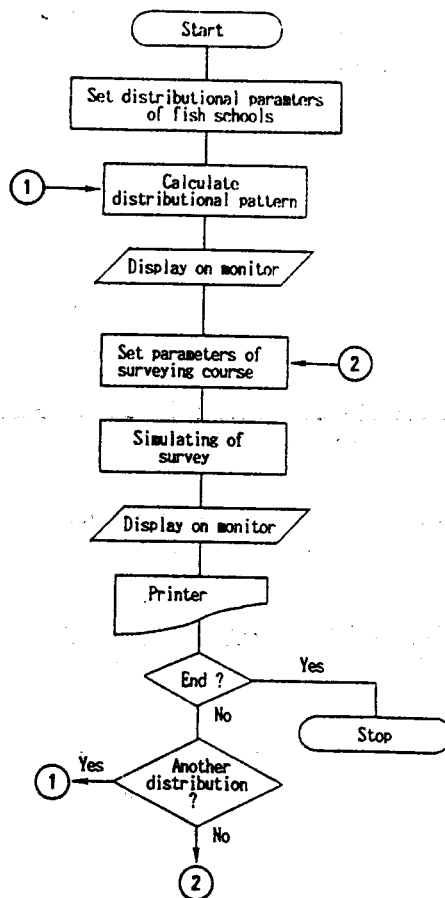


Fig. 5. The flow chart for simulation program.

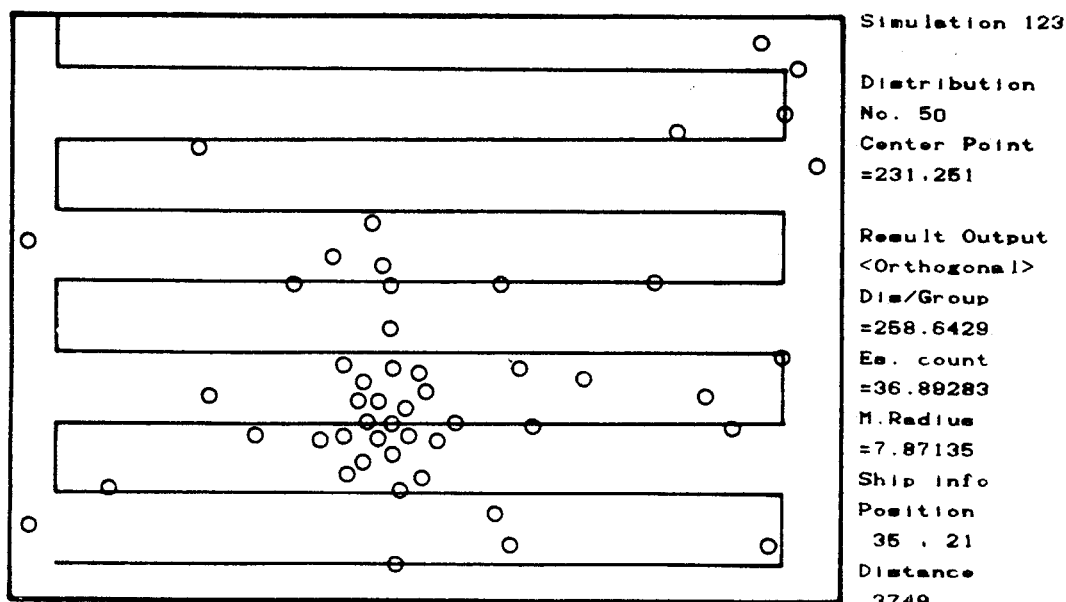


Fig. 6. An example of simulating result for orthogonal surveying tracks.

## Echo survey of moon fish

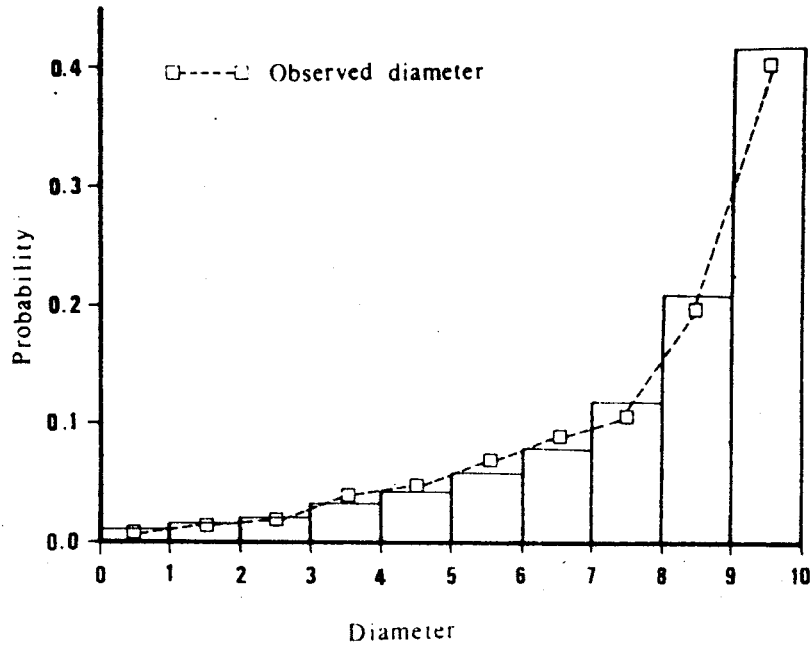


Fig. 7. A comparison of observed diameters by simulated and calculated diameters.

### 二、魚羣數的估計值與最佳探測路徑

三種探測路徑對總羣數為 50 羣之 50 種集中分布等圓羣作探測，探測總航程均在 3,300~3,700 之間。Fig. 8 是 50 種集中分布魚羣，以三種探測路徑推測魚羣數的頻度分布圖，大致呈正規分布

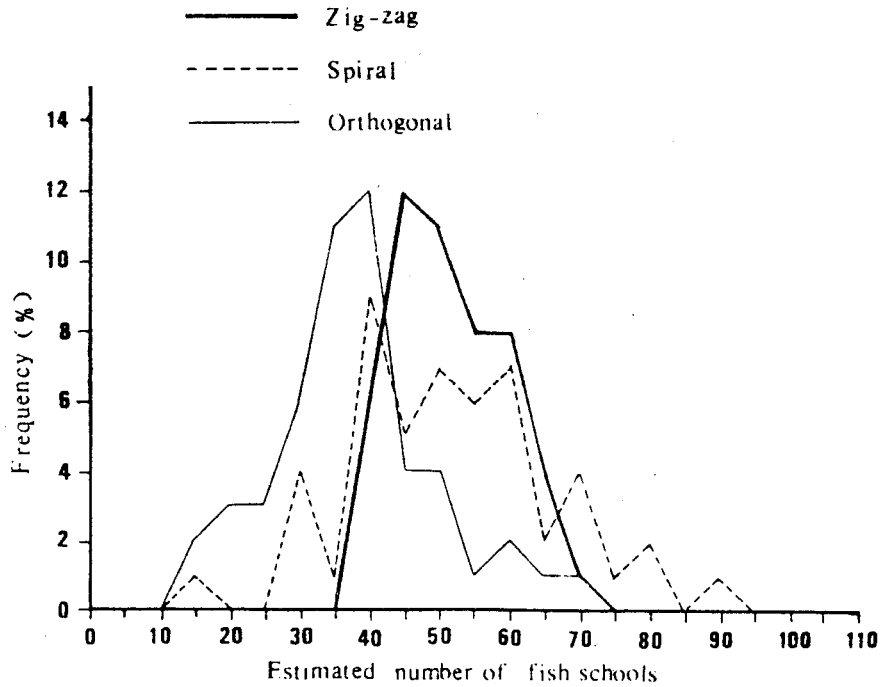


Fig. 8. Frequency distribution of estimated results by simulating fifty clumped distributional types of moonfish (each of them has fifty schools and was surveyed by three courses fifty times respectively).

；以  $t$ -test 檢定三種探測路徑之總羣數估計值是否等於實際值 (羣 50)，結果除了矩形探測路徑以外，其餘二種探測路徑之總羣數估計值與實際值相同 (Table 1)，而這二種探測路徑中之鋸齒形探測路徑的標準差明顯較小，可能原因如 Fig. 8 所示，螺旋形探測路徑之總羣數估計值隨着集中分布樣式之變化，容易產生極端高估或低估之情形，也就是說鋸齒形探測路徑的估計值最為穩定，不易產生高估或低估的情況，因此，對於集中分布的皮刀魚而言，鋸齒形探測路徑為最適探測路徑。

Table 1. Three two-tails  $t$ -test for the null hypothesis  $H_0$ , where the estimated number of fish schools is equal to 50

$H_0: \mu=50$   
 $H_A: \mu \neq 50$   
 $\alpha(2)=0.05$   
 $t=2.009$

Survey	$X$	$s$	$t$	Conclusion
Orthogonal	36.4	10.5	9.16	reject
Zig-zag	49.1	8.0	0.80	accept
Spiral	50.1	15.5	0.046	accept

#### 探測線密度之決定

Fig. 9 是利用電腦模擬 20 種集中分布之 50 羣等圓羣，並以鋸齒形航法進行模擬探測，轉向角 ( $\theta$ , Fig. 3) 由 38 度開始，每次減少 2 度地增加探測線密度，即每一集中分布以 19 種探測航程估計魚羣數目之結果，Table 2 則為各探測線密度配置下之總羣數平均估計值與標準偏差之大小。表及圖均顯示探測線之密度愈高 (即轉向角愈小、總航程愈遠) 則估計值的變異愈小，愈趨於穩定，Fig. 9 可更顯示探測線密度過疏時，高低估之情況很顯著，而隨着探測航程之增加，總羣數估計值逐漸收斂，但探測線密愈高時，不獨費事失時，而且可能由於魚羣行動之關係，會發生重複探測的疑慮。假設要估計值收斂在實際值上下 10% 之界限，即 45 到 55 羣之間，則由 Fig. 9 及 Table 1 所示，鋸齒形之轉向角為 10 度，探測總航程 3,551 左右。

#### 結論與討論

根據本模擬實驗之結果，對集中分布的皮刀魚羣以鋸齒形探測路徑為最佳，而且探測線密度對總羣數估計值之正確性有絕對之影響，欲減少推測值之誤差，探測總航程密度應在適當之收斂值以上，本模擬實際是對  $490 \times 330$  長方形水域內之塊狀分布皮刀魚羣進行模擬探測之結果，以轉向角維持 10 度，總航程 3,551 時為最佳。根據 Lee *et al.* (1986, 1988) 之調查，臺南海盆之皮刀魚羣主要棲息水域之水深為 40~100 公尺間，該水域約在  $119^{\circ}50'E \sim 120^{\circ}00'E$  與  $22^{\circ}55'N \sim 23^{\circ}35'N$  之間，海域面積約為 400 平方哩之狹長海域。若利用本模擬探測之實驗結果在該海域以鋸齒形探測、轉向角 10 度進行皮刀魚羣現存量評估，則需 45 個單位航距才能完成探測，每一單位航距為 10 哩，總航程大約為 450 哩左右，若探測船以 8~10 節作探測，則完成該水域皮刀魚現存量評估耗時 50 個小時左右。而根據 Lee *et al.* (1986, 1988) 之魚探調查報告指出，皮刀魚羣在夜間以小羣聚棲息在中表層水域，較易被魚探器記錄與判識，適合在夜間作現存量計測，因此若以單船在全海域作探測，一個晚上充其量只能評估四分之一水域而已，不過皮刀魚羣的分布隨季節之不同而有區域性之變動 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)，除四月份魚羣之分布範圍較廣外，其餘各月份魚羣之分布面積約佔



### Echo survey of moon fish

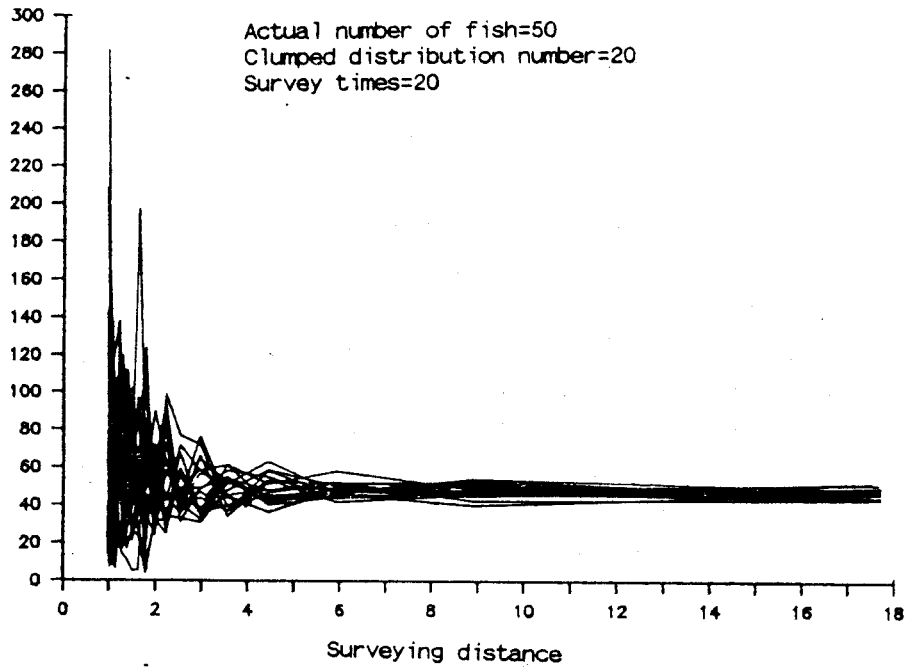


Fig. 9. The relationship between estimated number of fish schools and surveying distance.

Table 2. The relationship among angle of changing course ( $\theta_i$ ), distance of speed made good, estimated number of fish schools ( $\bar{X}$ ) and standard deviations of  $\bar{X}$

$\theta_i$	Dist.	$\bar{X}$	$s$	$\theta_i$	Dist.	$\bar{X}$	$s$
38	950	82.6	74.0	18	1,978	49.2	19.1
36	1,001	73.7	56.5	16	2,223	52.6	23.2
34	1,058	75.6	43.0	14	2,539	49.0	13.4
32	1,122	51.0	34.5	12	2,960	49.2	13.4
30	1,195	72.7	39.1	10	3,551	48.6	8.1
28	1,279	72.2	39.7	8	4,436	48.4	5.9
26	1,375	57.0	27.7	6	5,913	48.0	4.2
24	1,488	51.2	23.3	4	8,868	47.6	3.6
22	1,622	54.9	25.4	2	17,733	47.3	2.7
20	1,782	56.2	34.2				

$\theta_i$  : Angle of changing course.

Dist.: Distance of speed made good.

臺南海盆全海域面積之 1/5 左右，而四月份之上下旬漁場重心有顯著不同，各旬之分布面積亦不超過臺南海盆全海域面積之 1/2，而且其水平移動係受風向、潮汐、河川降水量之影響；因此若能配合皮刀魚分布特性之研究成果 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)，以月別、氣象、海況、河川流量因子作概略判斷以推測魚羣可能出現之水域，應可縮小探測範圍，減少巡航時間，在一夜之間完成海盆魚羣現

存量之評估。在實際探測時因調查水域之深淺不一，尤其是靠近外傘頂洲附近水深較淺，且有淺灘、沙洲等，在規畫探測路徑較模擬探測困難而複雜，但只要按模擬探測結果為根據，必要時以很小幅度之修正，其探測結果應不致有太大之誤差。

值得注意的是，矩形探測法對魚羣總數推估值之平均僅為 36.4 羣，遠低於 50 羣之實際值，Fig. 8 亦可看出矩形探測法易於造成低估，其原因可能如 Fig. 6 所示，對集中分布之皮刀魚而言，矩形探測路徑之一大部份航程均是覆蓋在集中分布中心以外，魚羣密度極為稀疏之水域，基於此，不同分布型式之魚羣是否需用不同之探測路徑評估其現存量，有必要進一步模擬集中分布、隨機分布及均一分布之魚羣，並分別用三種航法作模擬探測以究明之。

因非產卵羣皮刀魚的單羣規模是L字形分布 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)，故本實驗將魚羣視為等圓羣以進行模擬探測，但皮刀魚因成熟度係數不同，單羣規模大小不一，羣聚濃度亦不一 (Lee *et al.*, 1988; Leu, 1988)。因此，今後之模擬探測實驗如何利用畫像解析技術，將單羣之密度也加以考慮；是今後尚待進一步探討之課題之一，同時，本模擬探測實驗並未模擬魚羣游動之情況，主要是因為皮刀魚體側呈卵圓形、體形側扁、游泳速度不快 (Wu, 1987)，不致發生重複被計測之情況，故結果具實用性應不容置疑，但對於游泳速度快之魚類，其魚羣行動之究明並納入模擬探測實驗中，仍有待日後再進一步研究。

## 摘 要

為究明利用超音波評估臺灣西南沿海皮刀魚羣現存量之最佳探測路徑及最適探測航程，模擬塊狀分布之皮刀魚羣 (Lee *et al.*, 1988)，再利用矩形、鋸齒形、及螺旋形等三種不同探測路徑作模擬探測，檢討估計之總魚羣數及單羣規模之精確度，其結果摘要如下：

(一)單羣規模不因探測路徑不同而異，與理論計算規模頗一致。

(二)矩形探測路徑不適於探測集中分布之魚羣，而鋸齒形的探測路徑的估計值最為穩定，是最佳探測路徑。

(三)鋸齒形探測路徑的轉向角  $10^\circ$  時是本海域皮刀魚羣現存量評估之最適探測線密度。

## 謝 辭

本研究承蒙行政院農業發展委員會之經費支持，謹此致謝。研究進行中承本學院相關同仁的協助與寶貴建言，研究生李明安、孫芳仁、劉景輝及研究助理鄭景桓等之鼎力協助在此一併致謝。

## 參 考 文 獻

- Aoyama, T. (1982) Basic studies on the development of the technique for quick assessment of micronekton in the sea. Kagaku to Seibutsu. 106 pp.
- Doi, T. *et al.* (1975) The estimation of the krill abundance in the Antarctica by the fish finder records. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.* 287: 57-59.
- Inagaki, T. and T. Aoyama (1983) Note of fundamental studies on stock assessment methods by echo sounder (in Japanese). *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* 43: 103-104.
- Lee, K. T. (1985) Fundamental researches on the quick assessment method with acoustic system for marine fish stock. Ph. D. dissertation, Univ. Tokyo. 262 pp.
- Lee, K. T., M. C. Wu and M. A. Lee (1986) Studies on the acoustic scattering characteristics of individual moonfish. *J. Fish. Soc. Taiwan* 13(2): 1-11.
- Lee, K. T., S. R. Leu, L. J. Wu and M. C. Wu (1988) The characteristics of moonfish school in the coastal waters of southwestern Taiwan. *Act. Oceanogr. Taiwan* 20: 64-87.
- Leu, S. R. (1988) Fundamental studies on the factual distributional condition and stock assessment of moonfish off the coastal waters of southwestern Taiwan by acoustic method. Ms. Dissertation, National Taiwan College of Marine Science and Technology. 75 pp.

## Echo survey of moon fish

- Masahiko, F. (1983) Acoustic methods for fish stock assessment and their application. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* **40**: 16-20.
- Ou, H. C. (1980) Estimating fish stocks with echo pulse number from individual fish. Ph. D. dissertation, Univ. Tokyo. 211 pp.
- Thorne, R. E. (1988) An empirical evaluation of the duration-in-beam technique for hydroacoustic estimation. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* **45**: 1244-1248.
- Wu, M. C. (1987) Studies on the sounding and schooling characteristics of moonfish. Ms. dissertation, National Taiwan College of Marine Science and Technology. 47 pp.