

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※																																																																															
※																																																																				※											
※	探討模糊理論在漁業資源評估分析之應用-印度洋長鰭鮪資源個案研究																																																																					※									
※																																																																				※											
※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※																																																																															

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：NSC89-2313-B-002-088

執行期間：88年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：劉錫江

共同主持人：許建宗

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 90 年 9 月 28 日

中文摘要

長鰭鮪是溫帶且多產的重要經濟性魚種之一。1970 年代以來台灣鮪延繩釣漁業是開發印度洋長鰭鮪最主要的國家, 年產量佔 85%。本篇研究以傳統的 Schaefer 剩餘產量模式及模糊剩餘產量模式來評估印度洋長鰭鮪之資源量。採用之資料為台灣鮪延繩釣漁業在印度洋從 1979-1997 年的日別作業報表資料。以一般線性模式法校正名目單位努力漁獲量以獲得資源量指標, 合併表層及鮪延繩釣資源量指標以獲得代表印度洋長鰭鮪的資源量指標。結果顯示, 漁獲量及努力量序列可分為三段時期: 1979-1985、1986-1991、1992-1997。最高的漁獲量在第二段時期, 導因於台灣流刺網漁業的高捕獲量。第三段時期漁獲量降至 2 萬公噸的水準。資源量指標顯示, 1979-1987 在較高的水準平穩震盪。1988-1995 呈現下降趨勢。1995 後資源呈現上升趨勢。傳統 Schaefer 剩餘產量模式估計的最大持續生產量是 27,717 公噸。模糊剩餘產量模式估計的最大持續生產量從 25,728 到 30651 公噸。這些最大持續生產量值都比 1992 年後所捕獲的漁獲量高, 且資源量指標呈現上升趨勢, 顯示印度洋長鰭鮪資源未過度開發呈現較樂觀的狀態。

Abstract

Albacore is one of the important temperate and productive species. Since 1970s, Taiwan has been the leading nation exploiting the species using longline in the Indian Ocean (about 85% total annual catch). For assessing the stock status, a traditional Schaefer surplus production model and a fuzzy surplus production model were used for this purpose. Daily catch and effort data extracted from logbooks from 1979 to 1997 of Taiwan tuna longline fishery is used to derive the abundance index that is standardized by the general linear model with year, month, subarea and target species factors. The annual catches from longline and surface gears were used to fit these production models.

The results show that the catch and effort series can be divided into three periods, from 1979 to 1985, from 1986 to 1991, and from 1992 to 1997. The historical high catch level appeared during the second period, mainly made by Taiwan gill net fishery, then the catch level decreased to 20,000 mt during the third period (Fig. 1). The standardized abundance index fluctuated stably in a high level from 1979 to 1987

then decreased from 1988 to 1995, and increased after 1995 (Fig. 2). The maximum sustainable yield (MSY) estimated by Schaefer production model is 27,717 mt. The MSY estimated by fuzzy surplus production model ranged from 25,728 to 30,651 mt with increasing vagueness and point estimated at 27,248 mt. Those estimated values of MSY are higher than catch levels made from 1992, indicating that the stock may be under exploited under an optimistic status resulted from the increasing abundance index trend and catch level under MSY.

前言

由剩餘產量模式的建構過程得知, 各種假設條件即為系統誤差來源之一, Schaefer 型剩餘產量模式僅是線性迴歸式, 其誤差由量測誤差所造成, 並未考慮系統誤差的存在 (Schaefer, 1954; 1957), 因此我們採用田中等人於 1982 年所發表的模糊迴歸模式 (Tanaka et al., 1982; Sakawa and Yano, 1992), 來建構模糊型剩餘產量模式, 以考慮系統誤差對模式估計結果的影響。將導因於系統無法定義或不確定的因素所造成的系統誤差以模糊化之參數來代表系統變異, 模式輸入為明確值, 經擴張原理 (extension principle) (Klir and Yuan, 1992) 輸出為模糊數 (Tanaka et al., 1982), 建立模糊剩餘產量模式如下:

$$Y = \tilde{A} + \tilde{B}X \quad (1)$$

上標符號「 $\sim$ 」代表下面之數值為模糊數; Y 是因變數代表資源量; X 是自變數代表努力量。通常估計迴歸模式之參數時, 求誤差最小化也應用於模糊迴歸, 因此在特定的模糊水準(h)下, 設定目標函數使參數或估計值的模糊度最小化, 故由線性規劃估計模糊參數 (Klir and Yuan, 1995)。比較 Schaefer 型與模糊型剩餘產量模式所估計結果, 來分析量測誤差及系統誤差對評估資源模式的影響。

資料與方法

資料來源為台灣鮪延繩釣作業日報表經模糊綜合評判法歸類為一般鮪延繩釣型態者。卸漁量資料則參考印度洋鮪類組織 (Indian Ocean Tuna Commission, IOTC) 的資料摘要 (Data Summary) (Anon, 1999)。

為符合所建構模式的因變數及自變數需求資料需事先處理。處理方法主要分為以下三個流程:

1. 標準化單位努力漁獲量

求取標準化後的校正單位努力漁獲量之目的

在於獲得剩餘產量迴歸模式中代表資源量的資源量指標。校正受到環境因素、漁業因素及生物因素等影響的漁獲效率係數使其符合常數要求，校正單位努力漁獲量 (Adjusted catch per unit effort, ACPUE) 才能與資源量成正比 (Hilborn and Walter, 1992)。

一般線性模式建構如下：

$$\ln(\text{NCPUE} + \text{constant}) = u + Y_i + M_j + A_k + S_l + \varepsilon_{ijkl}$$

其中， $\ln$ ：自然對數， constant ：為避免單位努力漁獲量有 0 的情形，一般將此值設定成單位努力漁獲量的 10%，在此設定為 0.1， u ：平均值， Y ：年效應， $i = 1979 \sim 1997$ ， M ：月效應， $j = 1 \sim 12$ ， A ：海區效應， $k = 1, 2, 3$ ，依長鰹所捕獲之分佈漁區分為三區，分別為南緯 10 度至南緯 25 度之間，南緯 10 度以北，南緯 25 度以南， S ：標的魚種效應， $l = 1, 2, 3, 4, 5$ 。 S 以長鰹百分比來區分，從 0 到 100 之間每 20 為一區間，共分五個區間。 ε ：誤差項 $\sim n.i.d.(u, \sigma)$ 。

獲得每筆作業之校正單位努力漁獲量後，再經由每筆作業之長鰹漁獲量反推每筆作業之有效努力量 (effective effort)。累加每筆作業之有效努力量成為年度有效努力量。同樣累計長鰹年度漁獲量求年度校正單位努力漁獲量。

2. 合併不同漁具之努力量

印度洋長鰹主要由表層 (surface fishery) 及鮪延繩釣漁業 (tuna long-line fishery) 所捕獲 (Fig. 1)，因此我們需對不同的漁具效應做轉換，以獲得可以代表印度洋長鰹漁獲死亡率的相對努力量 (relative effort)，即剩餘產量模式中的自變數。轉換的方法如下三個步驟所示：

(1) 各年、各漁業別校正單位努力漁獲量中央趨勢化 (centralize)

流刺網漁業屬表層漁業漁獲對象主要為較年幼之長鰹 (3-4 歲為主) (Lee, 1991)，故流刺網之名目單位努力漁獲量經一般線性模式標準化成代表被表層漁業所捕獲印度洋長鰹資源量指標之校正單位努力漁獲量 (Lee and Liu, 1995)。鮪延繩釣之漁獲對象主要為成熟之長鰹 (主要為 5 歲以上) (Lee, 1991)，且台灣一般鮪延繩釣在 1979-1997 年間為印度洋長鰹最主要捕獲國 (Fig. 1)，故以台灣在印度洋鮪延繩釣所捕獲的長鰹之名目單位努力漁獲量經過一般線性模式法標準化後之校正單位努力漁獲量代表鮪延繩釣漁業所捕獲印度洋長鰹之資源量指標。

$$R_i(y) = \text{ACPUE}_i(y) / \text{mean ACPUE}_i \quad (3)$$

i ：漁具別，包括表層及鮪延繩釣兩種漁業。 y ：年度別，從 1979-1997。

(2) 加權校正單位努力漁獲量

以鮪延繩釣及表層兩種漁業的校正單位努力漁獲量的加權平均值代表印度洋長鰹資源量指標之相對校正單位努力漁獲量，加權值為每年表層漁業及鮪延繩釣之印度洋長鰹卸魚量對全部

印度洋長鰹卸魚量之比。

$$R(y) = \sum_i R_i(y) (Y_i(y)/Y(y)) \quad (4)$$

$Y(y)$ ：各年印度洋長鰹總卸魚量， $Y_i(y)$ ：各年各漁業別印度洋長鰹卸魚量，(3) 計算每年總有效努力量。

由每年印度洋長鰹總漁獲量除以加權校正單位努力漁獲量可獲得每年有效努力量

$$E(y) = Y(y) / R(y) \quad (5)$$

台灣鮪延繩釣、台灣流刺網漁業的校正單位努力漁獲量及代表印度洋長鰹的相對校正單位努力漁獲量如 Fig. 2。

3. 剩餘產量模式參數估計

(1) Schaefer 型剩餘產量模式

將前述之自變數 $E(y)$ 與應變數 $R(y)$ 代入 Schaefer 型剩餘產量模式一次迴歸式，由最小平方方法可以估計截距 (a) 與斜率 (b) 兩參數與校正單位努力漁獲量估計值及上下 95% 信賴區間，經由截距及斜率運算可得最大持續生產量 (Fig. 3)。

(2) 模糊型剩餘產量模式

模糊型剩餘產量模式自變數為明確數值，參數及因變數是模糊數。模糊型剩餘產量模式自變數與因變數變項皆與 Schaefer 型相同。然而因變數為符合模糊數的需求，故將校正單位努力漁獲量模糊化，因校正單位努力漁獲量分佈相當對稱，模糊化的方法是將校正單位努力漁獲量分佈的平均與上、下 95% 的信賴區間相對應於三角形歸屬函數之模糊數中三個特徵值 (m, α, β)，分別代表模糊數之中心值與左右兩邊區間值。估計模糊參數時考慮 (1) 式等號兩邊模糊數的相等關係，要求模糊估值的變異範圍要能盡量包含觀測值，模糊區間又要能越小越好，因此模糊迴歸問題轉化為線性規劃問題以估計模糊參數。符合前述條件下設定最小模糊水準 (h) 之參數，輸入限制式及設定最小化目標函數以線性規劃求取最適參數。模糊水準經 0.1-1.0 範圍間之測試結果，設定模糊水準為 0.5。所估計之截距與斜率經由模糊運算 (Klir and Yuan, 1995) 可獲得最大持續生產量 (MSY) 亦為模糊數。

最後將 Schaefer 型與模糊型剩餘產量模式所獲得的最大持續生產量分別與歷來之研究做比較 (Table 1)。了解在不同研究條件下印度洋長鰹資源的變動。

結果

1. 標準化單位努力漁獲量

台灣鮪延繩釣名目單位努力漁獲量經一般線性模式標準化後之校正單位努力漁獲量如 Fig. 2 所示。經一般線性模式標準化後之校正單位努力漁獲量，平均值略降且振幅略縮，校正單位努力漁獲量於 1989 年前後似成兩段不同趨勢的序列，前段穩定震盪後段從 1986 年的高峰跌至 1990 年的谷底，1990 年至 1995 年之間在最低水平上下震盪，1995 年至 1997 年又拉高至接近 1988 年的水準。

2. 合併不同漁具之努力量

經台灣鮪延繩釣及台灣流刺網漁業轉換後代

表印度洋長鰭鮪資源量指標的相對校正單位努力漁獲量如 Fig. 2 所示。印度洋長鰭鮪相對校正單位努力漁獲量趨勢與台灣鮪延繩釣所捕獲長鰭鮪之校正單位努力漁獲量趨勢相似，因台灣鮪延繩釣佔印度洋長鰭鮪大部分之卸漁量 (Fig. 1)。印度洋長鰭鮪之相對校正單位努力漁獲量從 1988 年後至 1996 年間皆在 1 以下，其餘年度則在 1 以上，尤其 1986 至 1992 年期間因台灣流刺網漁業的加入導致相對有效努力量提升，故相對校正單位努力漁獲量下降。

3. 剩餘產量模式

Schaefer 型剩餘產量模式相對校正單位努力漁獲量之套適情形如 Fig. 3 所示。

模糊型剩餘產量模式之套適情形如 Fig. 4 所示，以立體曲面呈現於模糊水準 (α -level)、相對校正單位努力漁獲量及年度 (year) 三個座標軸，此立體圖形依各年分別來看，每年在不同模糊水準下相對校正單位努力漁獲量皆呈現不同的模糊區間。整體而言大部分分佈在正值區域，1990 及 1991 年模糊水準 0.3 以下所估計之相對校正單位努力漁獲量左區間邊值為負，此不合理情形需進一步檢驗。

歷來研究印度洋長鰭鮪所獲得最大持續生產量之比較表如 Table 1 所示。

本研究中之 Schaefer 型與在完全明確狀況下 (α -level=1) 的模糊型剩餘產量模式之截距與斜率值相比，後者是一條截距較高、斜率較陡、最大持續生產量亦較低 (Table 1)。模糊型剩餘產量模式之截距、最大持續生產量是模糊數，斜率為明確值。隨著模糊水準下降即模糊區間增加時，截距之中心值 (m) 不變，但區間 (c) 逐漸加大，最大持續生產量之中心值逐漸變大，區間亦逐漸加寬 (Fig. 5)。

討論

1. 單位努力漁獲量的標準化

限於資料的可獲性以單位努力漁獲量為資源量指標。但資源量的變動牽涉的層面相當廣泛，往往同時受生物、環境、人類等因素影響，因此一般線性模式其影響因子的設定成為很主要的關鍵。

2. 不同漁具相對努力量之轉換

不同漁業努力量的定義各不相同，因此捕捉同一魚種的不同漁具效應之間要作效率轉換，努力量才有代表性。印度洋長鰭鮪經台灣流刺網漁業於 1986-1991 年大量開發 (Fig. 1)，經表層漁業卸魚量的轉換後增加不少有效努力量，此種增加方式造成有效努力量的下降，但是兩種漁業在不同時空下之作業方式需再深入比較，方可較合理而客觀的表達印度洋長鰭鮪的資源量變動。

3. 剩餘產量模式

剩餘產量模式經 Schaefer 型及模糊型兩類模式的建構後，分別考慮量測誤差及系統誤差所呈現的影響。由個別參數值尤其是估計的校正單位努力漁獲量的比較，Schaefer 型剩餘產量模式其套適結果是分佈於上下 95% 信賴區間的平面區間；模糊剩

餘產量模式的套適結果根據不同的模糊程度、依各年所估計的相對校正單位努力漁獲量分佈成為立體曲面。立體曲面形成的原因在於能夠包容不同程度的系統誤差。另外模糊剩餘產量模式在 1990 及 1991 年模糊水準 0.3 以下有負的估值出現，需進一步了解造成此一不合理結果的原因。

模糊剩餘產量模式經由線性規劃求出最適值，故限制式成為重要的影響因素，套適的模糊度 (h) 經比較後選取包絡區間最小者，故模糊度的選擇亦為影響套適結果之因 (Moskowitz and Kim, 2000)。此外，因變數觀測值之模糊化以平均值及 95% 的信賴區間代表三個模糊數特徵值是否合理，都是更進一步活用模糊剩餘產量模式所需要探討的。

參考文獻

- Anonymous. 1999. Indian Ocean Tuna Commission (IOTC). FISHSTAT.
- Chang, S. K. and C. C. Hsu. 1993. An updated assessment of Indian albacore stock by ASPIC. Proc. of the 5th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas, pp. 102-105.
- Hilborn, R. and C. J. Walters. 1992. Quantative Fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, Inc. N.Y. 1st ed. 296pp.
- Hsu, C. C. 1994. The status of Indian albacore stock - A review of previous works. Proc. of the 5th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas, pp. 117-123.
- Hsu, C. C. and H. C. Liu. 1990. An updated stock assessment of Indian albacore by production model. FAO/IPTP/TWS/90/55.
- Hsu, C. C. and H. C. Liu. 1991. A Brief updated stock assessment of Indian albacore by production model. TWS/90/55.
- Klir, G. J. and B. Yuan. 1995. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. Prentice-Hall Inc. NJ. 1st ed. 574P.
- Lee, Y. C. 1991. Population dynamics of albacore, *Thunnus alalunga*, in the Indian Ocean. Ph.D. Dissertation, Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. 112 pp.
- Lee, Y.-C. and H.-C. Liu. 1995. An updated virtual population analysis of the Indian Ocean albacore stock, 1980-1992. In *Proceedings of the Sixth Expert Consultation on Indian Ocean Tunas*. IPTP Collective Vol. 9. p. 267-278.
- Moskowitz H. and K. Kim. 1993. On assessing the H value in fuzzy linear regression. *Fuzzy Sets and Systems* 58:303-327.
- Nakamura, H. 1969. Tuna distribution and migration. Fishing News (Books) Ltd. London. 76pp.
- Nakano, H., M. Okazaki and H. Okamoto. 1997. Analysis of catch depth by species for tuna longline fishery based on catch by branch lines.

- Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish., No. 34:43-62.
- Nakano, H. 1998. Standardized CPUE for shock caught by Japanese longline fishery in the Atlantic Ocean side. ITP/TWS/93/1/4, 9-11p.
- Nelder, J. A., and R. W. M. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. J. of the Royal Stat. Soc. A. 135:370-384.
- Pella, J. J. and P. K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna comm. 13:419-496.
- Pindyck R. S. and D. L. Rubinfeld. 1991. Econometric models and economic forecasts. McGraw-Hill, Inc. N.Y. 3rd ed. 596pp.
- Pope J. G. 1988. Collecting fisheries assessment data. Edit by Gulland, J. A. in Fish population dynamics: the implications for management. John Wiley & Sons, Ltd. London. 2nd ed. 422pp.
- Prager, M. H. 1991. ASPIC: a surplus-production model incorporating covariates. ICCAT Working Document, SCRS/91/24, 218-229p. (Revised).
- Prager, M. H. 1992. Recent developments in extending the ASPIC production model. ICCAT Working Document, SCRS/92/127.
- Robson, D. S. 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. ICNAF Res. Bull. 3:5-15.
- Sakawa, M. 1992. Multiobjective fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data. Fuzzy sets and systems. 47:173-181.
- Sakawa, M. and H. Yano. 1992. Fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data. Information Science. 63:191-206.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspect of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1(2):26-56.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 2(6):245-285.
- Shiohama, T. 1985a. Overall fishing intensity and length composition on albacore caught by longline fishery in the Indian Ocean, 1952-1982. ITP Coll. Vol. Working Document, TWS/85/22 (1):91-110.
- Shiohama, T. 1985b. Stock assessment of Indian Ocean albacore by production model analysis, 1952-1982. ITP Coll. Vol. Working Document, (1):91-110.
- Shiohama, T. 1986. Overall fishing intensity of longline fishery on albacore in the Indian Ocean, 1952-1984. ITP Coll. Vol. Working Document, TWS/86/24, 21p.
- Shiohama, T. 1988. Stock assessment of Indian Ocean albacore by production model, 1952-1986. ITP Coll. Vol. Working Document, 3: 94-98.
- Sparre, P., E. Ursin, and S. C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment Part 1 - Manual. FAO Fisheries Technical Paper 306/1. Rome. 337pp.
- Sun, C.-L., and S.-Z. Yeh. 1996. Production model analysis of the south Atlantic albacore and a Monte Carlo sensitivity analysis of the effects of data accuracy. ACTA Oceanographica Taiwanica. 35(3):335-350.
- Suzuki, Z., Y. Warashina, and M. Kishida. 1977. The comparison of catches by regular and deep tuna longline gears in the Western and Central Equatorial Pacific. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. 15:51-89.
- Tanaka, T., S. Uejima, and K. Asai. 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. Vol. SMC-12, No. 6. 903-907p.
- Tanaka, H. 1987. Fuzzy data analysis by possibilistic linear models. Fuzzy sets and systems. 24:363-375.
- Von Bertalanffy, L. 1977. General system theory: foundations, development, applications. Hwa-Tay Book Co. Taipei Taiwan. Revised ed. 295P.
- Walter, G. G. 1973. Delay-differential equation models for fisheries. J. Fish Res. Board Can. 30:939-945.

計畫成果自評

當以模式化來模擬真實世界的情形時，即有誤差產生。因為此種以簡取繁的方式，會忽略許多無法確定或無法控制的部分，因此真值與估值之間，始終為誤差所糾纏。歷來對於誤差的分析，在統計上可分為取樣與非取樣誤差，在本研究中所提，資源系統的變異及資料蒐集過程，所造成的偏差，都屬於非取樣誤差。雖然大多數統計模式處理取樣誤差的問題，本文所提出的 Schaefer 型及模糊型剩餘產量模式，就是針對不同誤差來源，嘗試採用模糊理論來詮釋。系統誤差在統計中較少去面對，因為系統誤差量化的問題較困難，然而真實世界中，系統誤差又常較隨機量測誤差所引起的誤差要來的大，故本文提出模糊型剩餘產量模式，即嘗試了解系統誤差對資源評估時所造成之影響。經由模糊理論的運用，其中最為特殊者為 (1) 相關性可以用分佈的形式來描述，相當適用於具有相關變異性大之特徵；(2) 資源系統模式的參數經模糊化後可以代表系統的變異性，因此可更接近資源的真實面貌。雖然這是一個初步的嘗試，但是可讓我們更正面去面對非取樣誤差，使模式化的結果更向真實邁進。

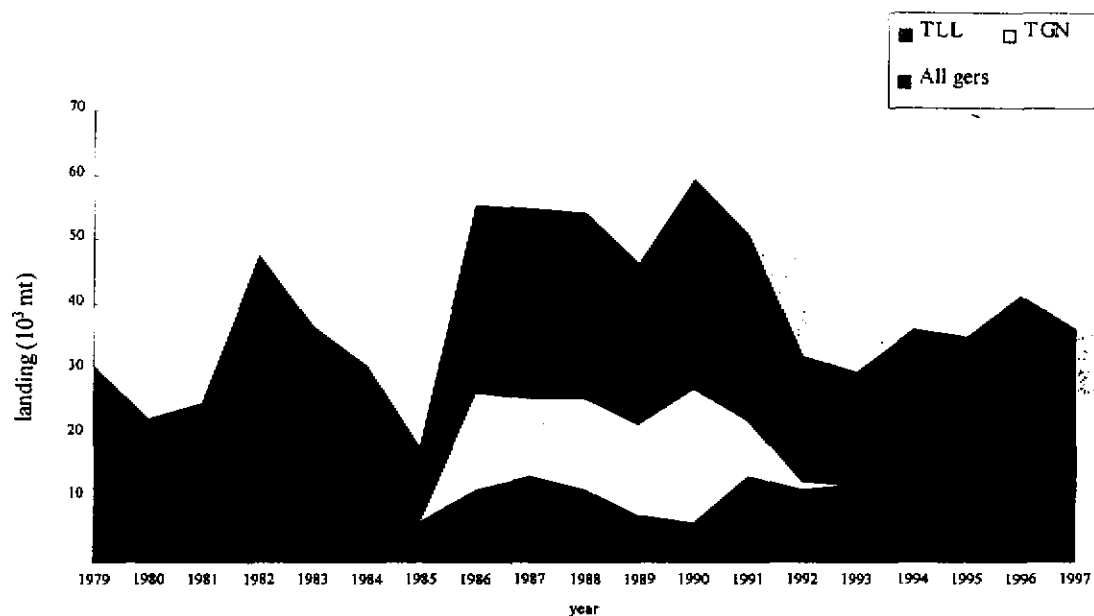


Fig. 1 The landings of albacore in the Indian Ocean by Taiwan long-line (TLL), Taiwan gill net (TGN) and all gears.

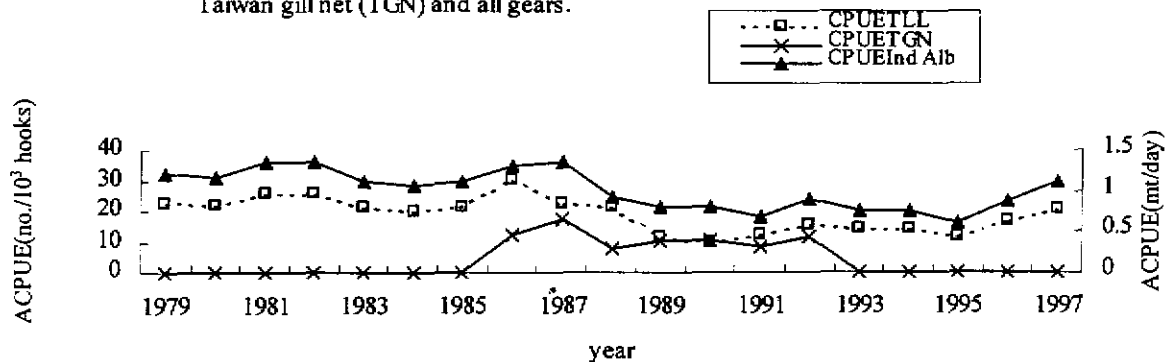


Fig. 2 The relative ACPUE series of albacore in the Indian Ocean calculated from the ACPUE of Taiwan Longline (TLL) and gillnet (TGN) fisheries.

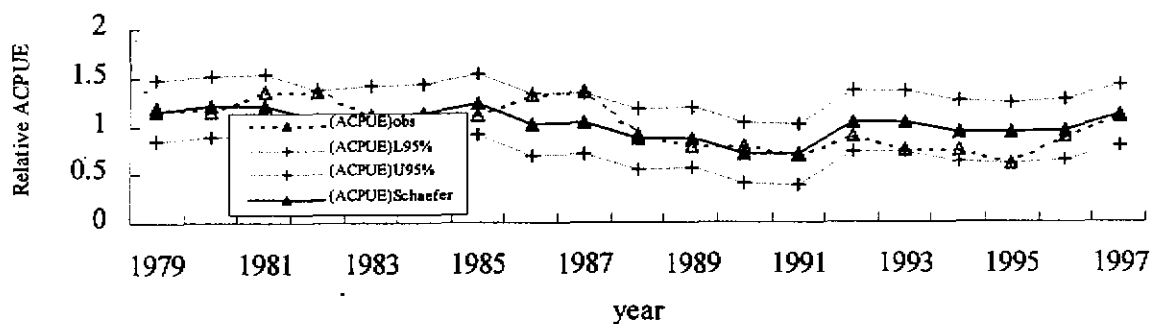


Fig. 3 The observed and estimated ACPUE from 1979-1997 of Schaefer surplus production model.

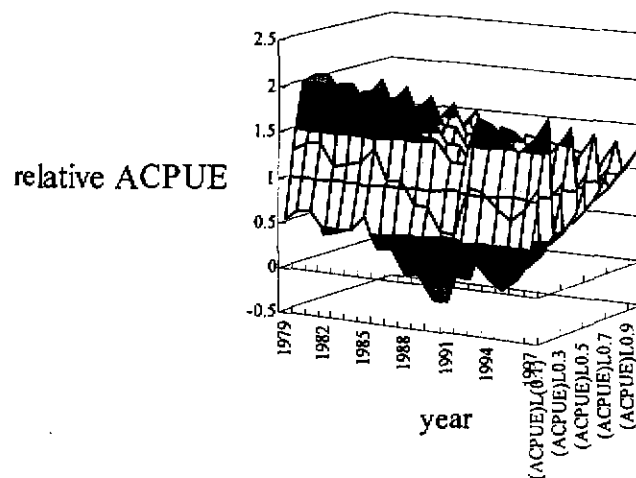


Fig. 4 The estimated relative ACPUE by year and by α -level of the fuzzy surplus production model.

Table 1. Maximum sustainable yield(MSY) estimated using production model by different authors after 1985 for Indian Ocean albacore. The MSY estimated by the profit were compared under the situation of $k=4$, and $m=0, 1$, and 2.

Authors	Data set covered	Program	MSY	m	MSY*
Shiohama (1985)	1952-1982	PRODFIT	15.4-20.5	0	20.5
Huang et al. (1986)	1963-1984	PRODFIT	16.6-17.7	0	17.1
Shiohama (1986)	1952-1984	PRODFIT	14.8-22.0	0	22.0
Lee and Liu (1988a)	1962-1986	PRODFIT	16.0-19.1	1	16.0
Lee and Liu (1988b)	1967-1986	PRODFIT	16.7-22.1	2	16.7
Shiohama (1988)	1952-1986	PRODFIT	16.0-17.6	0	17.6
Liu and Lee (1990)	1962-1986	PRODFIT	15.8-	1	16.0
Hsu and Liu (1990)	1962-1988	PRODFIT	17.5-21.8	0	21.8
Chang (1993)	1955-1990	PRODFIT	21.4-25.9	0	21.5
Chang (1993)	1967-1990	MUGEPROD	-	-	18.4
Chang and Hsu (1993)	1967-1990	ASPIC	-	-	13.6
Hsu (1995)	1967-1992	ASPM	-	-	24.2
Chen (1998)	1979-1996	Schaefer	-	2	30.5
Ma (1999)	1960-1996	ASPM	-	-	17.0
This study (2001)	1979-1997	SLSPM		2	27.7
This study (2001)	1979-1998	FLSPM	8-53	2	25.7-30.6

* : The unit is 10^3 mt. The estimated values that computed by the PRODFIT were at the highest R^2 among the three different ms.