

インド洋キハダに関する資源-漁業系動態モデル開発

西田 勤*

Development of the stock-fishery model for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean

Tsutomu NISHIDA*

Abstract

The stock-fishery dynamic model is developed for yellowfin tuna (YFT) in the Indian Ocean. This model treats fisheries and resources as one unit system. Thus, once the features of the system are estimated, it is possible to establish the desired production levels according to the levels of the resources by controlling fishing efforts. Unlike past analyses done by traditional models, this method includes information on all types of YFT fisheries operating in the Indian Ocean i.e., industrial longline fisheries (LL), industrial purse seine fisheries (PS) and artisanal fisheries (AF). Since the population sizes of immature and adult YFT are interactive and since surface fisheries (PS+AF) exploit immature stock while LL harvest adult stock, this model is intentionally developed to explain the dynamics between immature and adult YFT. Input information for this model are LL's CPUE and three groups of age-specific catch (age 0, 1 and 2 or older) for each type of fishery. The parameters to be estimated are survival rate, recruitment rate and initial adult population size. Prior to applying this model, the adult survival rate and the catchability of LL are estimated separately and used in the model.

This model is applied to the YFT stock of the western Indian Ocean and only 1971-88 data instead of a complete data set (1952-88) are used for parameter estimations to avoid two problems: (a) serious under-reporting of AF data before 1970, and (b) gaps in LL catchabilities in the data over the full 37-year period (1952-88). The 1971-88 data are further separated into four time periods and the parameters are estimated in each period in order to investigate the influences of sudden large PS catches (full-scale PS started in 1984) and inaccurate AF data. The four periods are: (1) the full 17-year period (1971-88), (2) before PS (1971-83), (3) 4-5 years before and after PS (1980-88), and (4) after PS (1984-88). The results demonstrate an estimated initial adult population of about 1-3 million fish, and their mean residuals in the four periods are 0.88, 0.65, 0.26 and 0.09 million fish respectively. It is realized that the model will fit better as more PS data are included, since accurate and large PS catch data should make it possible to eliminate the biases caused by the inaccurate AF data. Therefore, it is concluded that this model is considered to be adequate to explain the population dynamics of the YFT resources in the western Indian Ocean, as long as the input information is accurate.

1. はじめに

高度回遊性のかつお・まぐろ・かじき類の国際的資源

1992年3月10日受理

* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo. (現在) 水産庁遠洋水産研究所 National Research Institute Far Seas Fisheries, Ordo, Shimizu, Shizuoka 424, Japan.

管理は、各大洋で漁業当事諸国が設立した委員会を中心に行われている。インド洋では、国際連合食糧農業機関 (FAO) の下でインド洋・太平洋まぐろ類資源開発・管理プログラム (IPTP) が情報収集を行い、資源に関する知見を深めている。インド洋では、大別して3タイプの漁業によりかつお・まぐろ・かじき類が漁獲されている。すなわち、極東3カ国 [中国 (台湾)・日本・韓国] お

よびソビエトによる全域での産業的はえ縄漁業（以後、はえ縄漁業と略）、フランス・スペインを中心とした西インド洋における産業的まき網漁業（以後、まき網漁業と略）、そして途上国の小規模漁業（以後、小規模漁業と略）である。特に最近、重要魚種の一つであるキハダ資源の管理に関心が注がれている（IPTP, 1990b）。その背景には次の3点がある。（a）1952年のはえ縄漁業操業開始以来、成魚キハダCPUEの継続的減少傾向、（b）1984年より西インド洋で本格的操業が開始されたまき網漁業による未成魚の大量漁獲、（c）ほかの海洋に比べて低調な研究活動。本論文の目的は、これらの問題に対処するため、今までに蓄積された基礎的知見（漁業の実態、資源変動、系群構造）をもとに、キハダ資源管理のための動態モデルを開発することである。なお、解析に使用した漁獲量・漁獲努力量および体長資料は、IPTPのデータベース・出版物（1987；1989a；1989b；1990a；1990c）および水産庁（遠洋水産研究所）のデータベースである。

2. 漁業と資源

西インド洋におけるまき網漁業の本格操業開始以前の1983年までは、主に成魚（2歳魚以上）を漁獲するはえ縄漁業と主に未成魚（0, 1歳魚）を漁獲する小規模漁業により2-8万トンのキハダの漁獲があった。1984年のまき網漁業の本格的操業開始後に漁獲量は急増し、1988年にはかつての平均漁獲量の4倍以上の約18万トンに至った。まき網漁業では約7割の成魚および3割の未成魚を漁獲するが、このまき網漁業が他漁業に及ぼす影響、

さらにキハダ資源に及ぼす影響の解明は現在重要な課題である。はえ縄漁業によるキハダ漁獲量は1970年頃までは約3万トンで日本が86%以上漁獲していた。その後、日本は漁獲対象をミナミマグロに移したため、はえ縄漁業全体の漁獲量が2万トンに減少し、韓国がインド洋全域のキハダ漁獲量の60%以上を占めるようになった。1984-88年のまき網漁業のキハダ漁獲量は6-12万トンで、フランス・スペインがその88%を占めている。オーストラリアを除く小規模漁業の最近のキハダ漁獲量は2万トン前後で、スリランカ、モルディブ、インドネシアがその87%を占めている。しかし、小規模漁業は未報告が多く整備が不完全で漁獲量が相当過小推定されている上に、漁業データ収集システムにも問題が多くその精度も悪く（ANDERSON, 1986；NISHIDA and SIVASUBRAMANIAM, 1987）、これらデータから得られた結果の取扱いには注意が必要である。

インド洋キハダ資源の系群構造に関しNISHIDA（1992）は、Fig. 1のような東西2主系群および2つの付随系群が存在すると報告している。すなわち、主系群は、東経40-90度付近の西部系群と東経70-110度付近の東部系群で、付随系群は、東経約40度以西の極西系群および東経約110度以東の極東系群（または太平洋系群一部？）である。

3. 動態モデル開発

今までのキハダの資源解析では、表層漁業（まき網漁業および小規模漁業）と中層でははえ縄漁業とを別々に取扱い、3タイプの漁業をまとめて説明できるモデルはなかった。そのため、はえ縄データを用いプロダクションモデルで計算したMSYを数倍も上回る漁獲量が、まき網漁業で記録される矛盾が起こった（MARCILLE, 1986）。これは、いままでの解析には表層漁業データが含まれておらず、はえ縄漁業のみの閉漁場だけで資源変動を考えていたからである。表層漁業で漁獲される未成魚キハダ資源を考慮すると、漁場が3次元的に増加し資源量がそれに応じて増加するので、はえ縄漁業をもとに推定したMSYを越えるのは当然であろう。

さらに、3タイプの漁業データを別々に解析した場合に生ずる別の問題点として、未成魚・成魚の加入量の相互関係が説明できないことがある。すなわち、成魚群への2歳魚の加入量は未成魚の資源量に影響されており、逆に未成魚群への0歳魚の加入量は産卵魚である成魚資源量に影響されている。したがって、未成魚・成魚の資源量は互いの加入量に関係しあっているので別々に解析

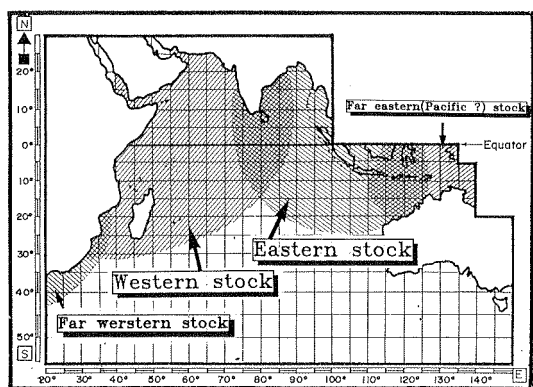


Fig. 1 Estimated yellowfin stock structure in the Indian Ocean (after NISHIDA, 1992).

した場合、現実的な動態を把握できないことになる。

以上の背景より、3タイプの漁業データを含みかつキハダの未成魚・成魚間の数量関係を説明できる動態モデル開発は資源管理の面から極めて重要で必要とされる。本研究では、この背景を考慮し資源と漁業を一つのシステムとし、未成魚・成魚の動態を説明する資源-漁業系動態モデルを開発した。この資源-漁業系動態モデルは、TANAKA (1980; 82; 84) の考えを応用したもので、資源と漁業を一体とみなしたいわば捕食-被食関係に似た動的モデルで、両者の特性を推定し人為的に漁獲努力量を長期間に亘りコントロールすることにより、漁獲量および資源量レベルを調節し資源管理しようとする方法である。

3.1. モデル

資源-漁業系動態モデルの仮定および使用される記号は以下の通りである。未成魚は0, 1歳魚を, 成魚は2歳以上をさす。

【仮定】

- (1) 成魚キハダが産卵する。
- (2) モンスーンの異常(期間や時期), 水温躍層の位置の異常などの環境の変化は, キハダの回遊ルートや遊泳層に影響を及ぼすが, 直接自然死亡率に大きな影響を及ぼさない。この仮定は, 熱帯域の安定した好環境条件下では, キハダの資源量変動に対する密度独立要因のはたらきが少ない(川崎, 1982; 鈴木, 1983)ということにもとづいている。

【記号の説明】

- (t) : t年
- 0 : 0歳魚
- 1 : 1歳魚
- 2⁺ : 成魚
- L.L. : 産業的はえ縄漁業 (Industrial longline fisheries)
- C : 全漁業による成魚漁獲量 (百万尾)
- C_{L.L.} : 産業的はえ縄漁業による成魚の漁獲量 (百万尾)
- C₀ : 全漁業による0歳魚の漁獲量 (百万尾)
- C₁ : 全漁業による1歳魚の漁獲量 (百万尾)
- E_{L.L.} : 全産業的はえ縄漁業の有効漁獲努力量 (百万有効鈎)
- F_{L.L.} : ソビエトを除く全産業的はえ縄漁業の漁獲係数
- P : 成魚の資源量
- P(t) : t年はじめにおける成魚の資源量 (百万尾)
- q_{L.L.} : はえ縄漁業の成魚に対する漁獲能率

(CPUE)_{L.L.} : はえ縄漁業の平均鈎獲率
(尾数 / 1,000鈎)

R(t) : t年1年間における成魚の加入量

M_{2⁺} : 成魚の自然死亡係数

S₀₁ : 未成魚の年平均生残率

S_{2⁺} : 成魚の年平均生残率

m : t-2年はじめの成魚資源量を1としたとき, t年における加入量(0歳魚資源量)の比率

【モデル】

はえ縄漁業における成魚の漁獲量(C_{L.L.})と成魚資源量(P)の数量関係は,

$$C_{L.L.} = F_{L.L.} \cdot P = q_{L.L.} \cdot E_{L.L.} \cdot P$$

両辺を漁獲努力量(E_{L.L.})で割ると,

$$\left(\frac{C}{E}\right)_{L.L.} = q_{L.L.} \cdot P \quad \text{となり,}$$

$$(CPUE)_{L.L.} = q_{L.L.} \cdot P$$

$$\therefore P = (CPUE)_{L.L.} / q_{L.L.}$$

t年はじめの成魚資源量P(t)は, t-1年の1年間の漁業に左右されるから,

$$P(t) = CPUE_{L.L.}(t-1) / q_{L.L.}(t-1)$$

今, CPUEの情報が手元にある場合を考えているので, q_{L.L.}(t-1)とP(t)を推定する必要がある。

したがって

$$\therefore \hat{q}_{L.L.}(t-1) \cdot \hat{P}(t) = CPUE_{L.L.}(t-1) \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。この関係式は, はえ縄漁業で漁獲される成魚に関するもので, 未成魚との関係は含まれていない。その

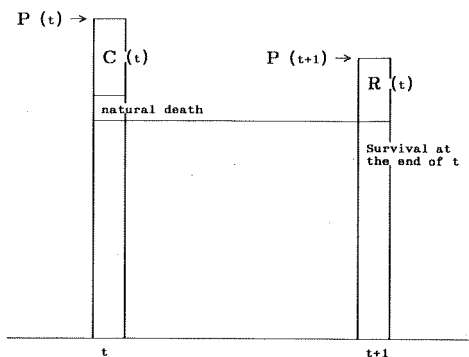


Fig. 2. Schematic explanation of the equation (2) in the stock-fishery model.

情報も含め、 $t + 1$ 年はじめの成魚の資源量 $P(t + 1)$ を考えると、以下の関係式が導かれる。

$$\hat{P}(t+1) = \{ \hat{P}(t) - C(t) \} \cdot \hat{S}_2 + \hat{R}(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで $C(t)$ は、 t 年における全漁業による成魚の漁獲量、 S_2 は成魚の年平均生残率、 $R(t)$ は t 年 1 年

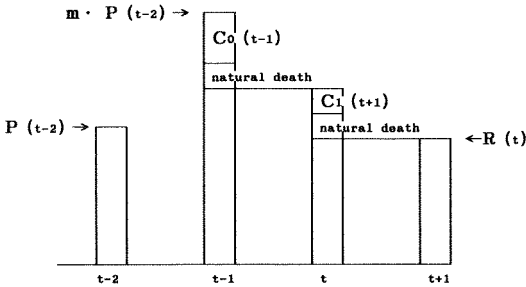


Fig. 3. Schematic explanation of the equation (3), recruitment of adult yellowfin tuna in the stock-fishery model.

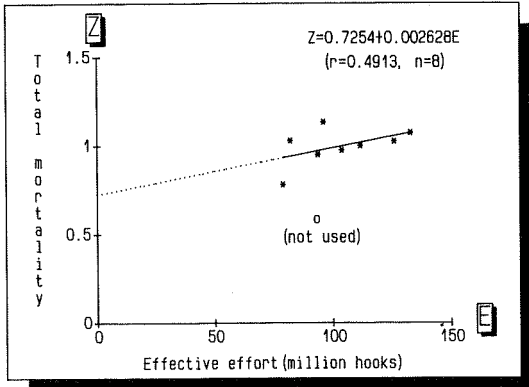


Fig. 4. Estimation of the survival rate of adult yellowfin tuna and the catchability of the industrial longline fisheries (1977-85) based on the relationship of $Z = M + qE$. Instantaneous total mortality (Z) was estimated in advance by the HEINCKE's method (1913). Then, $M = 0.725$, hence $S = \exp(-M) = 0.484$ and $q = 2.628 / 10^9$ hooks were estimated through this simple linear regression.

間における成魚加入量である。この関係を図示すると Fig. 2 のようになる。ここで $R(t)$ は、 t 年 1 年間における成魚の加入量で、以下の式で表される。

$$\hat{R}(t) = [\{ \hat{m} \cdot \hat{P}(t-2) - C_0(t-1) \} \cdot \hat{S}_{01} - C_1(t)] \cdot \hat{S}_{01} \quad \dots\dots\dots (3)$$

この式の、 m は $t - 2$ 年はじめの成魚資源量を 1 としたとき、 t 年における加入量 (0 歳魚) の比率である。また、 C_0 および C_1 は、0, 1 歳魚の全漁業による漁獲量、 S_{01} は未成魚の年平均生残率である。この関係を図示すると Fig. 3 のようになる。式 (1) - (3) で推定に必要なパラメータは、 S_{01} , S_2 , m , q_{LL} , および 3 種の初期成魚資源量 [$P(t - 2)$, $P(t - 1)$, $P(t)$] の 7 つである。

ここで、直接推定するパラメータ数を減らすため、 S_2 と q_{LL} を別に推定した。すなわち、はえ縄漁業データを用い HEINCKE (1913) の方法ではえ縄漁業の毎年の成魚の全減少率、 $Z_{LL}(t)$ をまず推定した。次に、 $Z_{LL}(t)$ と漁獲努力量 $E_{LL}(t)$ を用い、

$$Z_{LL}(t) = \hat{F}_{LL} + \hat{M}_2 + \hat{q}_{LL} E_{LL}(t) + \hat{M}_2$$

の関係より成魚の自然死亡率 (M_2) とはえ縄漁業の成魚に対する漁獲効率 (q_{LL}) を回帰分析で推定した。その結果、成魚の生残率 $S_2 = \exp(-M_2) = 0.484$ と漁獲効率 $q_{LL} = 2.628 / 10^9$ 鈎が推定された (Fig. 4)。したがって、資源-漁業系動態モデルで推定するパラメータは、 S_{01} , m , そして 3 種の初期資源量の 5 つに減った。ところで、 q_{LL} が推定されたので、式 (1) は、

$$\hat{P}(t) = CPUE_{LL}(t-1) / q_{LL} \quad \dots\dots\dots (1)'$$

となる。式 (1)' と (2) は漸化式で、5 つのパラメータが推定されると $P(t + 1)$ が決まり、順次毎年の資源量が決定されることになる。パラメータは、式 (1)' の右辺と左辺の差の 2 乗和、

$$SS = \sum \{ \hat{P}(t) - CPUE_{LL}(t-1) / q_{LL} \}^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

を最小とするような組合せを推定することで求めることができる。

3.2. 入力データ

インド洋では、キハダ漁獲量の 7 割以上が西部系群なので、この系群にモデルを適用した。式 (1)', (2), (3) よりなる資源-漁業系動態モデルに必要な入力データは、 $CPUE_{LL}(t-1)$, $C(t)$, $C_0(t-1)$, $C_1(t)$ の 4 種類である。一般的にプロダクションモデル、コーホート解析, Yield per recruit モデルでは、整備されているすべての期間のデータが使用されているが、本

研究では以下の理由により1971-88年のデータのみを解析に使用した。

- (1) 前述のように、小規模漁業の漁獲量データは、未報告が多いため実際より過小推定されており、特に1970年以前ではそれらの統計の整備が不十分である。
- (2) はえ縄漁業操業開始当時と現在では40年余りの時間的経過があるので、この間の漁獲能率の違いが著しいと判断できる。したがって、この差を少しでも緩和するために、はえ縄漁業の初期・中期(1950年代および1960年代)のデータを使用しなかった。
- (3) このモデルは、ロジステックモデルをもとにしていないので、環境収容力・内的増加率を正確に推定するために必要な大きな変化(はえ縄漁業の漁獲量・CPUEの1952年から現在にかけての大きな減少)の情報が不要である。資源-漁業の関係をつかむための正確な情報が最低10年程度あれば充分とみられる。

入力データのCPUEは本間法(1974)で標準化した有効漁獲努力量を用いて計算した。また、入力データの年齢別漁獲量は、ROMANOV and KOROTKOVA(1988)の研究資料より von Bertalanffyの成長曲線、

$L(t) = 197.3 \{ 1 - e^{-0.2725(t+0.06877)} \}$ を推定し、これをもとに計算した。

3.3. パラメータ推定

パラメータ推定の際、データに内在する2つの問題点(小規模漁業のデータの過小評価・精度の悪さおよびまき網漁業の極端に高い漁獲量)が、モデルにどう影響をあたえるかを吟味するために以下の4ケースにわけ、それぞれのケースで推定値および残差(データのモデルへの

適合性)も計算し比較・検討した。

ケース(1) : 3タイプの漁業(まき網漁業、はえ縄漁業、小規模漁業)がすべて含まれる場合(1971-88)。

ケース(2) : まき網漁業の本格的操業開始前(1971-83)。

ケース(3) : まき網漁業の本格的操業開始前後4-5年(1980-88)。

ケース(4) : まき網漁業の本格的操業開始後(1984-88)。

ケース(3)・(4)は、データ数がそれぞれ9点・5点と少ないので自由度を減らさないため、3年間の初期資源量を推定するかわりに、1つの平均的初期資源量を推定した。パラメータ推定には、東京大学海洋研究所の大型電算機(IBM4381-T92)と同大学本郷キャンパスの大型電算機(HITAC M-682/M-880)を使用し、コンピュータプログラムはSAS/BASE(SAS Inc., 1988)を利用し作製した。

各ケースで推定されたパラメータをTable 1に示した。これによると、推定初期資源量100-340万尾に対し、平均残差はケース(1)では81万尾、ケース(2)では65万尾、ケース(3)では26万尾そしてケース(4)では9万尾となった。これより、まき網漁業データの占める割合が多いほど[ケース(3)と(4)], 残差が減少することが明らかである。これは、精度のよいまき網漁業の多量の漁獲量データ(小規模漁業の4倍以上)がモデルに含まれると、小規模漁業のデータの過小評価・精度の悪さの問題が消去され残差が減少したと解釈できる。ケース(4)では、現在のところデータ数は5点と少ないが平均残差は最も小さいので、ここで推定されたパラメータ(未成魚の生残率: 0.172, 成魚資源量に対する

Table 1. Estimated parameters and residuals.

| Case | Period | n | Rate of PS data used (%) | Estimated parameters | | | | | Mean residuals (million fish) |
|------|---------|----|--------------------------|----------------------|-----|-------------------|----------|----------|-------------------------------|
| | | | | S_{01} | m | P_{68} | P_{69} | P_{70} | |
| (1) | 1971-88 | 18 | 28 | 0.09 | 91 | 3.2 | 2.0 | 1.7 | 0.81 |
| (2) | 1971-83 | 13 | 39 | 0.10 | 63 | 3.4 | 2.8 | 2.5 | 0.65 |
| (3) | 1980-88 | 9 | 56 | 0.09 | 130 | $P_{79} = 1.1(*)$ | | | 0.26 |
| (4) | 1984-88 | 5 | 100 | 0.17 | 49 | $P_{83} = 1.4(*)$ | | | 0.09 |

Note (*): Only one initial population size instead of three was estimated in these two caese due to insufficient number of data.

0歳魚の加入倍率：48.9, 1983年の資源量：135万尾）は最も現実的な値と思われる。

3.4. モデルの評価

開発された資源-漁業系動態モデルを評価するため次の方法を試みた。すなわち、精度の低い途上国の小規模漁業データを含む資源-漁業系動態モデルで推定した成魚資源量と、式(1)'を用いた精度のよいはえ縄漁業データのみにより推定した成魚資源量を比べる方法である。ここで、前者の推定値が後者の推定値に近ければ、資源-漁業系動態モデルは、未成魚・成魚間の動態をよく説明でき有用と判断できることになる。Fig. 5は各ケースの2者による推定資源量を示しており成魚の漁獲量も含めて図示した。この図より小規模漁業のデータの

多く含まれるケース(1)・(2)では、2者の方法で推定した資源量が余り一致していないが、精度のよいはえ縄漁業データがより多く含まれているケース(3)・(4)では2者の推定値がほぼ一致しており、特にケース(4)では殆ど同じ推定値が得られたことがわかる。したがって、開発された資源-漁業系動態モデルはデータの精度がよければキハダ資源の動態をよく説明しているといえる。

Fig. 5のケース(3)・(4)より、1980年代では西インド洋における成魚キハダ資源量の30-40%前後が漁業で間引かれていることがわかる。

3.5. 成魚加入量推定

4ケースで推定されたパラメータを用い、毎年の成魚

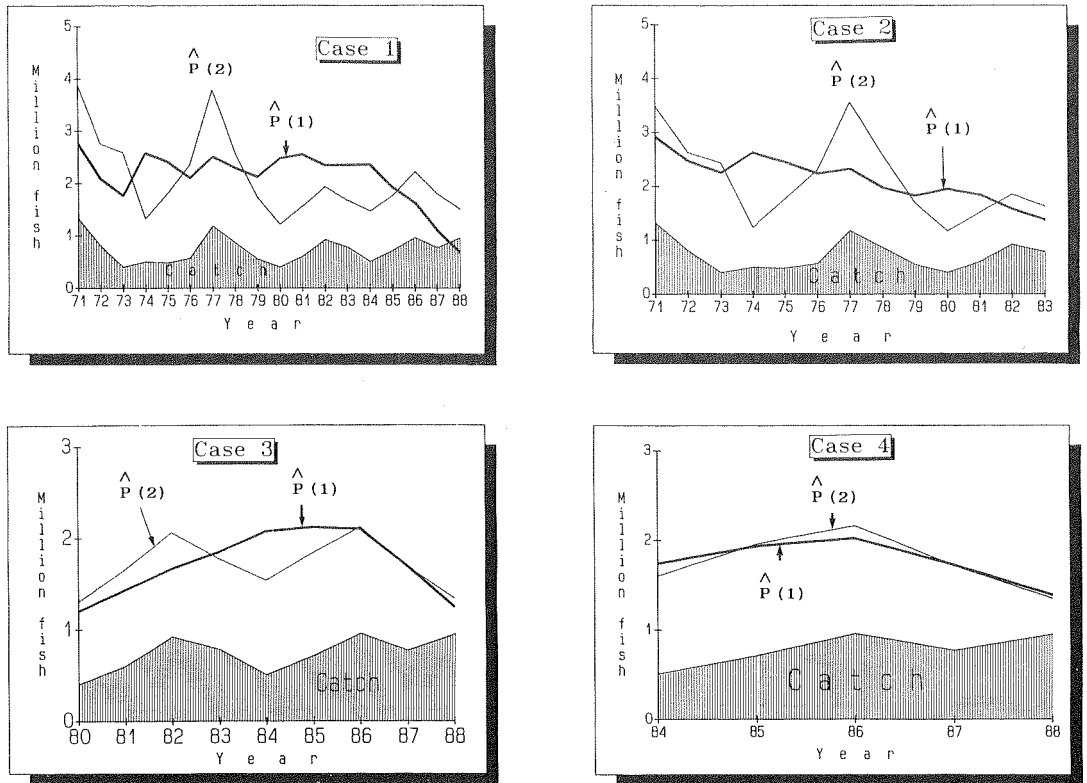


Fig. 5. Estimated adult yellowfin population size (in number) of the western Indian Ocean stock by two methods and in four time periods. The two methods are:

P (1)=based on the stock-fishery model with the equations (1)', (2), (3).

P (2)=based on the LL data with the equation (1)'.

The annual adult catch is also depicted.

の加入量 $R(t)$ を式(3)より計算し、Fig. 6にその変動を描いた。この図より精度の高いパラメータで推定したケース(3)・(4)の時系列傾向はよく一致している一方、精度の低いケース(1)・(2)ではバラツキの多いことがよくわかる。以後、前者における成魚加入量変動について考察する。加入量は、大体100-160万尾の範囲で変動しているといえる。ケース(3)では1980年から1984年にかけて約100万尾から160万尾に増加している。この原因は、1970年代中頃より日本がミナミマグロを狙い始めたため、はえ縄漁業の漁獲量が30-40%減少し、成魚キハダ資源量が徐々に回復しはじめたことによるものと考えられる。しかし、1984年以降成魚加入量は徐々に減少し、1985-86年には約150万尾にそして1988年には約120万尾に落ち込んだ。両ケースともにデータ数が少ないために断定することができないが、この原因は次のように考えられる。1984年から本格的に始まったまき網漁業の大量漁獲で0,1歳魚が相当量間引かれたので(1984年には460万尾、1985年には980万尾、そして1986年には1750万尾)、それらの年級群が2歳魚になる1-2年後の1987-88年あたりから影響が出始め、1988年の加入量が前年に比べ約30万尾も減少したものと推定される。

もしこの状態が続き、まき網漁業とはえ縄漁業が現状を維持すれば、今後西部系群の成魚キハダへの加入量が減少し、それにより未成魚キハダへの加入量も平行して減少することとなり、キハダ全体の資源量レベル

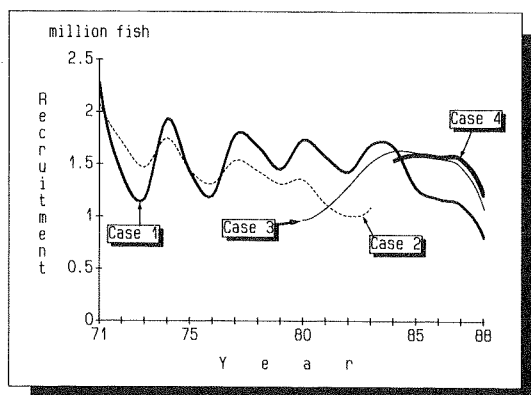


Fig. 6. Estimated annual recruitment of yellowfin tuna (age 2) in four time periods.

が低下することとなろう。そのため今後、新しいデータを入手するたびに各漁業のCPUE、さらに開発された資源-漁業系動態モデルで資源量・加入量を推定し、危険な状態に陥る前に、漁獲努力量を制御していく方向にもっていく必要がある。関係各国がこの状態を理解し対策を検討する必要がある。

4. おわりに

本研究で開発したインド洋キハダ資源のための資源-漁業系動態モデルは、精度の良いまき網漁業データが、精度の悪い小規模漁業を量的にしのご、1984年以降において実用が可能であることが確かめられた。このことから、今後データがさらに蓄積されれば、本モデルはキハダ資源の予測・管理さらに漁業間の相互作用の解明に役立つものと考えられる。また、小規模漁業の漁獲量データの精度が改善されれば、1984年以前の3タイプの漁業データも含めてこのモデルを利用でき、まき網漁業の新しいデータの蓄積を待たなくとも精度の良い解析が行えるものと期待される。

謝 辞

本論文で開発した動態モデルに関し貴重な助言をいただいた、東京大学海洋研究所助教授岸野洋久助教授に深く感謝します。また、本稿をレビューし貴重なコメントを下さった、東京大学海洋研究所教授石井丈夫博士、助教授青木一郎博士、助手小松輝久博士ならびに同大学農学部教授清水 誠博士、助教授谷内 透博士の各位に感謝いたします。また本研究で使用したデータを準備・提供して下さった国連FAO水産局インド洋・太平洋まぐろ類開発管理プログラム(元)リーダー桜井俊氏、同プログラムシステムアナリストのSUNIL AMARASEKARA氏、および水産庁遠洋水産研究所(元)浮魚資源部長岡田啓介博士、現部長鈴木治郎博士、同部熱帯性まぐろ研究室主任研究官宮部尚純氏に深謝いたします。また、大型電算機使用にあたりお世話になった、東京大学海洋研究所助教授玉木賢策博士、助手岸 道朗博士、稲垣 正枝官、吉田幸男技官、同大学本郷キャンパス大型計算機センターのプログラム相談員および事務官にお礼申し上げます。

文 献

ANDERSON, R. C. (1986) Republic of Maldives tuna catch and effort data 1970-1983. FAO/IPTP/86/WP/14, 9 pp.

- HEINCKE, F. (1913) Investigation on the plaice. General report. 1. The plaice fishery and protective regulations. Part I. Rapp. P. - V. Reun. - CIEM, **17A**, 153pp.
- 本間 操 (1974) まぐろはえなわ漁業の漁獲強度の推定 - 魚群分布に季節変化のある大西洋のキハダの場合 - 遠洋水産研究所報告, **10**, 63-85.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1986) Coll. Vol. of Work. Doc., **1**, 223pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1987) IPTP Data Record, Vol. **1**, 346pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1989a) IPTP Data Record, Vol. **2**, 459pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1989 b) Tuna sampling programme in Sri Lanka. IPTP/89/SRL/SP, 109pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1990 a) Indian Ocean and Southeast Asian tuna fisheries data and summary for 1988. FAO/IPTP Date Summary, No. **10**, 95pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1990 b) Report of the expert consultation on stock assessment of tuna in the Indian Ocean. FAO/IPTP/90/GEN/18, 96pp.
- IPTP / Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme (1990 c) IPTP Data Record Vol. **3**, 346pp.
- 川崎 健 (1982) 浮魚資源 (新水産学全集 **9**). 恒星社厚生閣. 東京, 327pp.
- MARCILLE, J. (1986) Interaction between long-line and surface fisheries for yellowfin tuna. FAO/IPTP Coll. Vol. of Work. Doc., **1**, 217-229.
- NISHIDA, T. and K. SIVASUBRAMANIAM (1987) Fishery statistics in the Bay of Bengal. FAO/BOBP/WP/59, 41pp.
- NISHIDA, T. (1992) Considerations of stock structure of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on fishery data. Fisheries Oceanography **1**, 143-152.
- ROMANOV, E. V. and KOROTKOVA L. P. (1988) Age and growth rates of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) (BONNATERE, 1788) (Pisces, Scombridae) in the northern part of the Indian Ocean, determined by counting the rings of vertebrae. FAO/IPTP Coll. Vol. of Work. Doc., **3**, 68-73.
- Statistical Analysis System (SAS) (1988) SAS Procedures Guide, Ver. 6 Edition. Cary, NC, U. S. A., SAS Institute Inc., 1028pp.
- 鈴木治郎 (1983) プロダクションモデル, 石井丈夫編 / 水産資源の解析と評価 - その手法と適応法 (水産学シリーズ **46**), 日本水産学会, 恒星社厚生閣, 東京, 59-68.
- TANAKA, S. (1980) A theoretical consideration on the management of a stock-fishery system by catch quota and on its dynamical properties. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **46**, 1477-1482.
- TANAKA, S. (1982) The management of a stock-fishery system by manipulating the catch quota based on the difference between present and target stock levels. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **48**, 1725-1729.
- TANAKA, S. (1984) On the method for calculating catch quotas. Bull. Int. North Pac. Fish. Comm., **42**, 98-103.