

# 水産資源管理談話会報

第 3 号

マグロ資源のVPA

日本鯨類研究所 資源管理研究所

1991年8月

## 目 次

お知らせ	..... 2
宮部尚純 (遠水研) 大西洋クロマグロに適用されるVPA手法について..... 3	
石塚吉生 (遠水研) ミナミマグロ資源評価に適用される VPAの現状と問題点..... 16	
辻 祥子 (遠水研) VPAに含まれる不確実性について..... 34	

財団法人 日本鯨類研究所  
資源管理研究所

〒104 東京都中央区豊海町4-18 東京水産ビル  
03-3536-6521  
Fax 03-3536-6522

## お知らせ

予定より遅くなりましたが『水産資源管理談話会報 第3号』をお届けします。今回は1991年4月8日に行なわれた遠洋水産研究所の方々による、マグロ資源評価に用いられているVPAの方法に関する報告をまとめました。クジラの場合も同様ですが、このような特定のグループにより高度に特殊化された技法は、符丁のような言葉がしばしば出てきたりして、部外者にはわかりにくいものですが、三つの報告をあわせて読んでいただければ、おおよその事はご理解いただけると思います。詳しく知りたい方は原論文を読む以外にないでしょう。ご報告いただいた方々に感謝します。

第4回談話会は、7月15日に開催しました。当日の話題は、ファジー制御による鯨資源の管理および水産資源とエキスパートシステムでした。9月末頃に会報が出せると思います。

第5回談話会は、10月21日(月)午後2時から開きますが、話題は1984年から続けられている漁業資源管理適正化方式開発調査の成果の中から、汎用モデル(東水大 田中栄次氏)および周防灘モデル(山口内海水試 檜山節久氏)についてお話をいただく予定です。座長をお願いした船越茂雄氏(愛知水試)からもイカナゴの管理の話題が出るかと思えます。

第6回以降は、1月、4月、7月、10月を一応の目処にして開いていきたいと考えています。話題としては、浮魚資源、根つき資源、資源培養管理事業、コリン・クラークの最適化論、体長組成解析プログラム(ELEFAN)、水産資源解析のためのモデル論、等々が考えられますが、皆様のご意見をうかがいながら、続けていきたいと思えます。

(田中昌一)

はじめに

大西洋クロマグロはまぐろ類のなかでも最も長生きをする種類で、寿命は約30年、体長3.5mに達する。主に温帯域のかなり沿岸から沖合域を広く回遊し、その過程で幼魚から成魚に至るまで様々な漁業によって漁獲される。大西洋の東西に2つのストックが仮定されており、今回は西大西洋ストックの例を用いてVPA手法を説明する。大西洋クロマグロについては1975年に大西洋全体における死亡率増加が禁止され、さらに、1982年以降西大西洋ストックについては以前のレベルの3分の1程度のモニタリング漁獲枠が設定されるなど、厳しい漁獲規制が課せられている。

本種の資源評価はICCAT（大西洋まぐろ類保存委員会）の場に置いて各国科学者によって行なわれているが、その特性からキハダ等に用いられているプロダクションモデル解析等は適当でなく、VPA（コホート解析）が主として用いられてきた。

VPAでは通常データ数よりも推定されるべきパラメータ数の方が多いので、解を得ることができない。Fまたは資源尾数の初期値が必要で、これが与えられれば芋づる式に計算できる。ただし、初期値を正確に求めるのは非常に難しい。そこで、最も良いと思われる結果を得られるようにVPAを調節する。この過程は通常“calibration”または“tuning”と呼ばれる。ICCATで用いられてきたVPAも初期の頃はシンプルなtuningが行なわれてきたが、その後“objective function approach”へ、さらには“integrated method”へと変化してきた(Conser, 1989)。

ICCATで用いられている方法は、Gavaris, (1988)のシナリオB（catch-at-ageにエラーがない）を土台にしたもので、そのタイトルの頭をとってADAPTと呼ばれている（以下ICCATでクロマグロに用いられているVPAをADAPTと呼ぶ）。一言で表すと、観測されたCPEと資源尾数の変化が最もよく一致するようにVPAをtuningするものである（目的関数を最小にするパラメータを非線形最小二乗法で求める）。具体的には、最終年の最適F、q（catchability coefficient）を求めるものである。最近のマルチコホート解析(Doubleday, 1976以降)ではFのseparabilityを仮定している場合が多いが、大西洋のクロマグロの場合は漁業の規模や種類にかなり大きな変遷があり、この仮定は満足されないと考えられている。

VPAに必要な漁獲量は各国の研究者によって推定されている。漁獲量は、同時に収集される体長・体重組成標本から体長別漁獲尾数に変換され、さらにBertalanffyの成長式（図1）によって、年齢別年別漁獲尾数（catch-at-age）が推定される。現在のcatch-at-ageは1970年以降について整備され、昨年の例では1-9才までの各年齢とそれ以上（10+）にまとめられている（表1）。また、Mは0.14で年または年齢によらず一定と仮定している。

VPAの手順（図2）

1. 基本的なVPAの計算方法の決定。

1. 1. 最終年の年齢別Fの比(部分加入; partial recruitment略してPR)。  
従来はSeparable VPA (Pope and Shepherd, 1982)によって推定したが、昨年はvariabilityが高いと判断されたので実際には用いなかった。

1. 2. 最終年を除いた最高齢のFの計算方法。  
幾つかの方法がADAPTに用意されているが、PRパターンがフラットトップなら、

$$F_{ay} = \text{LOG} \left( \frac{\sum_{i=b}^{a-1} N_{i,y}}{\sum_{i=b+1}^a N_{i,y+1}} \right) - M \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、a: 最高年齢、b: PRが一定となる最初の年齢、y: 年、i: 年齢。または、プラスグループより若い幾つかの若年齢群のFを平均して用いることも出来る。  
PRパターンがドームシェイプなら、 $F_{ay}$ と $F_{a+1,y}$ (プラスグループ)との比( $\alpha$ )を年毎に仮定(通常は1.0)し、ある年のプラスグループは前年のプラスグループと前年の最高齢の資源に死亡係数が掛ったものと考えることが出来る。つまり、

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y}-M) + N_{a+1,y} \exp(-\alpha F_{a,y}-M) \dots \textcircled{2}$$

ここで $N_{a+1,y+1}$ 、Mは既知であるので、 $N_{a,y}$ 及び $N_{a+1,y}$ をcatch equation或いはPopeの簡便式を用いてC・M・Fの関数に置き換えると、Fを繰り返し計算によって産出できる。

前回までは最高齢より若い数年齢群のFを平均したものをを用いていたが、今回は成長式を変更し、さらにプラスグループをかなり若い所に設定したことに伴い、PRが一定と見なせなくなったのでcatch equationを用いて②式を解いた。

2. 目的関数を決める。今回は以下の式③が用いられた。

$$SSQ = \sum W_i (CPUEの観測値_{i,j} - CPUEの計算値_{i,j})^2 \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

SSQ: 残差平方和、 $W_i$ : 重み、i: CPUEのシリーズ、j: 年。CPUEのシリーズは年齢別または年齢群別に推定されている(表2)。

2. 1. CPUEの計算値の計算方法。

VPAから計算された年毎の資源尾数と観測されたCPUEについて予期される関係式を決める。種々の関数が適用可能であるが、現ADAPTでは最もシンプルな原点を通る直線関係を用いている。傾き(q; catchability)を推定する。

$$CPUEの計算値_i = q_i \cdot N \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

ただし、 $q_j$ は求められていないのでこれもパラメータとする必要がある。また、CPUEが年齢毎に得られている場合はよいが、複数の年齢にまたがるときは各漁業は対象年齢の全てを同じ様に漁獲していない場合があるので、それを考慮することも可能である。Gavaris, (1988) に従うと各漁業別年齢別年別 ${}_jF_{ay}$ は、

$${}_jF_{ay} = F_{ay} ({}_jC_{ay} / C_{ay}) \quad \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

ここでCは漁獲尾数、jは漁業、aは年齢、yは年を表わす。対象年齢中の最大部分Fで割ったものを漁業別部分加入率( ${}_jPR_{ay}$ )とし、

$${}_jPR_{ay} = {}_jF_{ay} / \max ({}_jF_{ay}) \quad \dots\dots\dots \textcircled{6}$$

年別対象資源を、

$$\sum_a N_{ay} \cdot {}_jPR_{ay} \quad \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

としてqを計算した。

### 3. 重みの計算

重み( $W_j$ )は、CPUE間で単位が違ったり、精度の異なるものがあるため、各CPUE毎の残差を同等に扱うことは問題がある。通常分散の逆数が用いられるが、昨年 の ICCAT では、まず各CPUEをその平均で割って数値を標準化し、さらに各CPUE単独でADAPTをテストランして平均平方(MSE)を計算した。これの逆数をとり、全てのCPUEシリーズのそれを足すと1となるように再標準化したものを重みとした。重みについては付録1参照。

### 4. 推定すべきパラメータを決める。

各CPUEシリーズの漁獲係数( $q_j$ )と、最終漁獲年の翌年1月1日の年齢aの資源尾数(言い換えると最終漁獲年のa-1歳のF)をパラメータとする。推定可能なパラメータ数はデータの数(CPUEのobservation数)に依存する。今回は各 $q_j$ と3-9歳の資源尾数計12個をパラメータとした。

### 5. 初期値の決定

パラメータの初期値を設定する。

### 6. VPAのラン。

初期値にしたがってVPA(back calculation)を計算し、資源尾数を計算する。

### 7. 非線形最小二乗パッケージ(MARQUARDT法)がパラメータを変化させて目的関数を計算し、最小二乗となるパラメータを推定する。

### 8. 結果の出力

catch-at-age(表1), 初期値  
F table(表3), N table(表4, 図3)

C P U Eの計算値と観測値、残差(residual)、重み  
全 S S Qに占める各 C P U Eの寄与率  
パラメータの推定値、パラメータの分散、パラメータ間の相関

## 9. 結果の検討

出力結果を詳細に検討し、修正すべき点、或いは改善の余地があればそれを取込んで、上記の1～5の適当な所に戻って再度V P Aを行なう。良ければ結果を採用する。

## 論議

A D A P Tでは非線形最小二乗アルゴリズムの一つであるMARQUARDT法を用い、③式を最小にするパラメータを数値的に解いている。A D A P Tでは推定されるべきパラメータを指定する必要があり、推定可能なパラメータの数は利用可能なC P U Eの数とその年数に依っている。出来るだけ多くのパラメータが推定できるのが良いが、一般にパラメータの数が多くなると推定精度が減少する。また異なったパラメータの設定はもちろん、初期値によっても、異なった結果が得られる場合がある。現在のA D A P TではC P U Eごとにqを推定する必要があり、catch-at-ageの最終年の次年のいくつかの年令別資源尾数を加えたものが総パラメータ数となっている。これらのパラメータ数は試行錯誤により（パラメータの推定精度を見て）決められる。昨年の結果ではパラメータとなったF（その前年の1才若い資源尾数）のC Vは0.33から0.98の範囲にあった。

A D A P Tでの利点は、1)目的関数を容易に変更できる、2)推定値の精度が評価できる、3)通常年令分解が容易でない高齢魚をプラスグループとして扱い、tuningに含めることができる、4)パラメータを同時推定するためパラメータ決定の際の主観性を取り除くことができる、等の点である。

## 問題点

- ・最高齢のFを決定するよい方法はないか。catch-at-age初期の高齢の資源量（非常に重要）は、この方法でかなり決ってしまうように思われる。パラメータとすることは可能か。
- ・C P U Eの重み付けの方法はこれでよいか。
- ・クロマグロの東西ストック間の交流が無視されている。
- ・P Rを求めるよい方法はないか。
- ・結果（資源尾数）が過小評価されているように思える。
- ・catch-at-ageにエラーがないと仮定している。
- ・Mは年や年齢によらず一定？
- ・資源管理に必要な最近年の特に若齢の資源量は誤差が大きい。

## 文献

- Conser, R.J. 1989. An examination of the utility of integrated approaches for bluefin tuna catch-at-age analysis. ICCAT, CVSP. 30(2):283-301.
- Conser, R.J. and J.E. Powers. 1990. Extensions of the Adapt VPA tuning method designed to facilitate assessment work on tuna and swordfish stocks. ICCAT, CVSP. 32(2):461-470.
- Cook, R.M. 1987. Multiplicative modelling of recruitment estimates. Inter. Council Expl. Sea. Assess. Methods Work. Gr. Meeting. June 1987. Working Paper no. 10. 12p.
- Doubleday, W.G. 1976. A least square approach to analysing catch at age data. Res. Bull. ICNAF, 12:69-81.
- Gavaris, S. 1988. An adaptive framework for the estimation of population size. Canadian Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc. 88/29. 12p.
- Pope, J.G. and J.G. Shepherd. 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. J. Cons. Int. Explor. Mer. 140:176-184.

## 付録 1. 重み付け (Weighting procedure) について

Conser and Powers, (1990) は CPU E の性質により種々の重み付けに対応 (観測値間の分散を安定させる) できるよう、3つの Multiplicative な重みを ADAPT に導入している。

$$W_{jv} = \omega_{jv} \cdot \chi_j \cdot \delta_{jv} \cdots \cdots \textcircled{8}$$

ここで  $\omega_{jv}$  は調査や GLM 等からの  $1/\sigma^2$  タイプの重み、 $\chi_j$  は CPU E シリーズ間の分散を安定させる重み、 $\delta_{jv}$  は VPA の収束特性に対し年々の分散を安定させるように働く重みである。⑧式で得られた重みはさらに、

$$\sum W_{jv} = 1.0$$

となるように再計算する。

- (1)  $\omega_{jv}$ 、外来データ (Exogenous) からの分散逆数重み  
最小二乗の教科書によくあるデータの由来の差を考慮した重み、データの種類、単位の違いなどを考慮する。
- (2)  $\chi_j$ 、繰返し重み付けからの分散逆数重み  
個々の CPU E の分散の大きさの差を考慮する。単独の CPU E で ADAPT をテ



ストランし、mean square errorを計算し、その逆数を重みとする。

$x_i = \text{自由度}_i / \text{残差平方和}_i = \text{mean square errorの逆数}$

(3)  $\delta_{ij}$ 、VPA収束性に対するdown-weighting

tuningによってFtを変えると近年の残差は小さくなるが、VPAには収束特性があるため年を戻れば戻るほどFtによる残差の差はなくなってしまう。これに対処するため、Cook, (1987)はCleveland tri-cubeによる重み付けを提唱した。

$$\delta_{ij} = [1 - (\Delta y / \Delta y_{\max})^3]^3 \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$\Delta y$ は最終年とある年との年数差である。

重みの決定方法 (注. 現在は使われていない)

- (a)  $\omega_{ij} \cdot x_i \cdot \delta_{ij}$ を決める。
- (b)  $W_{ij}$ を計算する。
- (c) ADAPTをランし、結果を検討する。
- (d) 分散が均一でなかったり、結果がおかしければ、

$$\begin{aligned} \partial \sigma_i^2 &= SS / v_i \\ v_i &= n_i - \rho / \phi \end{aligned}$$

によってpartial varianceを計算する。ただし、 $i$ : CPU Eシリーズ、 $SS$ : ADAPTからの残差平方和、 $v_i$ : CPU Eの自由度、 $n_i$ : 観測数、 $\rho$ : ADAPTで推定されるパラメータの数、 $\phi$ : ADAPTで用いられたCPU Eシリーズの数。

- (e)  $x_i$ を下式で計算し、(b)に戻る。

$$x_i = 1 / \partial \sigma_i^2,$$

ただし $\sum x_i = 1.0$ となるように再計算する。

表 1 Catch numbers of west Atlantic bluefin tuna.

YEAR :	70	71	72	73	74	75	76	77
AGE :								
1 :	64869.	62998.	45402.	5102.	55958.	43557.	5412.	1273.
2 :	105064.	153364.	98577.	74304.	19846.	148026.	19643.	22395.
3 :	127518.	38359.	33762.	30485.	21291.	8329.	72511.	9481.
4 :	20998.	46021.	3555.	7115.	6487.	11850.	2754.	32093.
5 :	4062.	704.	4031.	2010.	3137.	899.	3035.	5171.
6 :	979.	1595.	117.	1594.	712.	569.	372.	3560.
7 :	182.	2000.	514.	825.	918.	311.	187.	1080.
8 :	115.	1481.	601.	1625.	879.	565.	1166.	483.
9 :	542.	1146.	263.	586.	1076.	1680.	514.	1089.
10+ :	3777.	6021.	5548.	4490.	12580.	9568.	14110.	13615.

YEAR :	78	79	80	81	82	83	84	85
AGE :								
1 :	5133.	2745.	3160.	6087.	3528.	4173.	868.	568.
2 :	10848.	10537.	16160.	9606.	3710.	2438.	7495.	5510.
3 :	19831.	16179.	10855.	16550.	1649.	3253.	1855.	12311.
4 :	6409.	14993.	8880.	4962.	519.	909.	1989.	2715.
5 :	10424.	3416.	3033.	6194.	336.	816.	2110.	4216.
6 :	4213.	3407.	2869.	3602.	730.	912.	1709.	4173.
7 :	655.	2715.	5306.	2833.	484.	1388.	584.	1014.
8 :	509.	633.	3790.	3332.	482.	1310.	719.	655.
9 :	314.	521.	1022.	2677.	823.	1012.	1014.	660.
10+ :	12030.	12352.	12323.	10867.	3171.	5761.	4715.	5650.

YEAR :	86	87	88	89
AGE :				
1 :	563.	1513.	4849.	786.
2 :	5896.	13268.	8995.	12864.
3 :	7176.	9105.	11843.	1675.
4 :	3383.	5508.	3815.	3624.
5 :	1162.	4334.	4182.	1840.
6 :	1669.	2421.	4138.	2018.
7 :	994.	1421.	2408.	2644.
8 :	518.	1341.	1592.	1859.
9 :	334.	1053.	1553.	1415.
10+ :	5370.	3908.	4710.	5417.

表 2 Abundance indices considered for calibration of west Atlantic bluefin tuna stock size estimation.

GEAR	Larval bft	Tended Line	LL	LL	LL					R R	
COUNTRY	U.S.A.	CANADA*	JAPAN	JAPAN	U.S. OBS					U.S.A.	
AREA	Gulf of Mexico	NW Atl.	NW Atl.	NW Atl.	U.S. EEZ					U.S. Coast	
AGE**	8+	10+	3-5	6-7	3	4	5	6	7	8+	1-3
WEIGHT***	0.01946	0.19039	0.03378	0.12754						0.4663	0.16221
1975	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1976	--	--	1.00000	1.00000	--	--	--	--	--	--	--
1977	2.266	--	2.66627	5.06285	--	--	--	--	--	--	--
1978	5.511	--	1.22972	5.40911	--	--	--	--	--	--	--
1979	--	--	0.25491	6.21409	--	--	--	--	--	--	--
1980	--	--	0.80326	5.68401	--	--	--	--	--	--	--
1981	1.270	0.135	0.61729	4.25890	--	--	--	--	--	--	1.00000
1982	0.932	0.090	0.35583	1.59831	--	--	--	--	--	--	0.82877
1983	0.991	0.058	0.15095	1.22356	--	--	--	--	--	1.00000	0.92694
1984	0.286	0.029	0.46443	3.19730	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.66905	--
1985	--	0.016	0.54976	4.59009	4.446	1.129	0.781	1.958	1.878	0.54591	0.90496
1986	0.393	0.020	0.25108	2.37093	1.449	0.723	0.429	0.576	1.165	0.70652	0.92050
1987	0.342	0.016	0.45939	4.30793	2.050	1.687	1.350	1.618	1.589	--	0.91701
1988	0.868	0.023	0.51530	5.56218	1.498	0.903	0.943	1.662	1.576	0.53211	0.89057
1989	0.944	0.013	0.52792	4.25868	1.046	0.595	0.870	1.782	1.768	0.45475	0.97009
Stock measure	Biomass	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers	Numbers
Time of year for stock size	Middle	Middle	Start	Start	Start	Start	Start	Start	Start	Middle	Middle
Ref.SCRS/	90/77	90/94	90/75	90/75	90/80	90/80	90/80	90/80	90/80	90/79	90/81

\* The Canadian tended line large fish index is considered to represent fish in the 13+ age categories. Due to our pooling of the catch-at-age table to 10+ the index was adjusted by the ratio of the catch at age 13+ to catch at age 10+

\*\* Age refers to the age groups to which the index was applied.

\*\*\* Weight refers to the relative weights applied to each index during

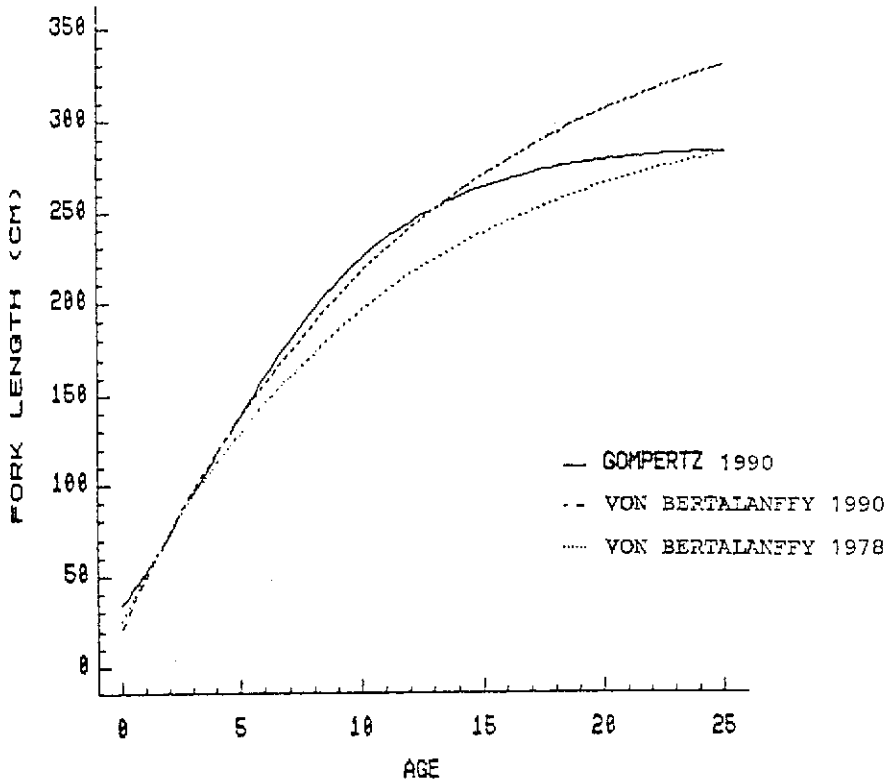
表 3 Fishing mortality rates estimated by VPA for the west Atlantic bluefin tuna by the 1990 SCRS.

		F AT AGE DURING YEAR						
Age	Year	70	71	72	73	74	75	76
1		0.2337	0.3008	0.2452	0.0456	0.1330	0.4033	0.0454
2		0.8121	1.2308	0.9853	0.7344	0.2335	0.5634	0.2985
3		0.9799	0.7476	0.9563	0.9104	0.4440	0.1359	0.5558
4		0.2958	1.1694	0.1271	0.4950	0.4548	0.4430	0.0570
5		0.1178	0.0134	0.2562	0.0923	0.3935	0.0967	0.1800
6		0.0236	0.0582	0.0026	0.1427	0.0402	0.1065	0.0496
7		0.0119	0.0576	0.0225	0.0212	0.1072	0.0208	0.0432
8		0.0025	0.1186	0.0207	0.0862	0.0266	0.0834	0.0951
9		0.0174	0.0285	0.0261	0.0238	0.0710	0.0611	0.0954
10+		0.0174	0.0285	0.0261	0.0238	0.0710	0.0611	0.0954
-----								
		77	78	79	+80	81	82	83
1		0.0164	0.1084	0.0400	0.0591	0.1316	0.0736	0.0524
2		0.2490	0.1762	0.3143	0.3224	0.2386	0.1038	0.0627
3		0.2148	0.3392	0.4000	0.5733	0.5919	0.0548	0.1170
4		0.4761	0.2062	0.4320	0.3719	0.5229	0.0298	0.0364
5		0.1353	0.2593	0.1514	0.1349	0.4481	0.0553	0.0561
6		0.3087	0.1460	0.1182	0.1718	0.2195	0.0801	0.1953
7		0.1858	0.0799	0.1239	0.2542	0.2393	0.0387	0.2010
8		0.1407	0.1173	0.0969	0.2377	0.2345	0.0545	0.1312
9		0.1133	0.1198	0.1584	0.2093	0.2459	0.0782	0.1449
10+		0.1133	0.1198	0.1584	0.2093	0.2459	0.0782	0.1449
-----								
		84	85	86	87	88	89	
1		0.0152	0.0079	0.0087	0.0845	0.0518	0.0584	
2		0.1176	0.1184	0.0993	0.2710	0.9105	0.1769	
3		0.0583	0.2685	0.2084	0.2049	0.3844	0.3858	
4		0.0913	0.1064	0.1026	0.2289	0.1162	0.1808	
5		0.1041	0.2648	0.0569	0.1733	0.2543	0.0708	
6		0.1496	0.2865	0.1487	0.1510	0.2327	0.1753	
7		0.1732	0.1167	0.0956	0.1709	0.2062	0.2141	
8		0.1424	0.2792	0.0754	0.1690	0.2743	0.2273	
9		0.1334	0.1765	0.2092	0.2025	0.2809	0.3890	
10+		0.1334	0.1765	0.2092	0.2025	0.2809	0.3890	
-----								

表 4 Population numbers (stock size) of west Atlantic bluefin tuna as estimated from VPA by the 1990 SCRS.

STOCK AT AGE AT BEGINNING OF YEAR							
Year	70	71	72	73	74	75	76
Age	-----						
1	332661	259007	223101	122644	480724	139971	130689
2	200585	228932	166683	151776	101871	365871	81296
3	216324	77409	58124	54099	63307	70123	181064
4	87568	70588	31865	19419	18925	35303	53215
5	39107	56633	19057	24395	10291	10440	19708
6	45037	30219	48579	12823	19339	6036	8240
7	16490	38242	24786	42124	9665	16149	4717
8	50310	14166	31384	21069	35853	7548	13750
9	33710	43630	10938	26725	16804	30350	6037
10+	234911	229505	230776	204723	196484	172712	166063
-----							
	77	78	79	80	81	82	83
	-----						
1	83974	53479	74957	59007	52810	53229	87597
2	108576	71817	41717	62609	48356	40248	42991
3	52439	73588	52349	26486	39431	33114	31539
4	90288	36777	45572	30507	12979	18966	27253
5	43699	48759	26016	25720	18284	6689	16004
6	14311	33181	32707	19441	19538	10155	5502
7	6817	9137	24927	25264	14232	13638	8149
8	3928	4922	7333	19146	17034	9740	11407
9	10869	2966	3805	5786	13123	11713	8019
10+	136007	114010	90211	69763	53278	45144	45710
-----							
	84	85	86	87	88	89	90
	-----						
1	61660	77390	69294	19978	102821	14826	0
2	72268	52796	66751	59717	15961	84873	12157
3	35104	55855	40773	52544	39593	5583	61824
4	24392	28791	37124	28777	37218	23436	3300
5	22846	19354	22504	29126	19899	28807	17005
6	13154	17897	12911	18483	21293	13415	23331
7	3934	9846	11683	9073	13817	14667	9787
8	5794	2877	7617	9231	7088	9774	10293
9	8697	4369	1892	6141	6777	4684	6769
10+	40409	37360	30407	22779	20533	17927	13322
-----							

GROWTH CURVE COMPARISON



Gompertz model:  $L_{\infty} = 287$  cm;  $g = 0.216$ ;  $k = 2.120$

Von Bertalanffy 1990:  $L_{\infty} = 380$  cm;  $k = 0.079$ ;  $t_0 = 0.731$

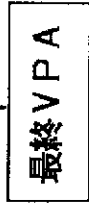
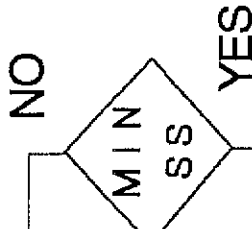
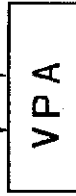
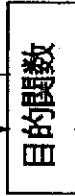
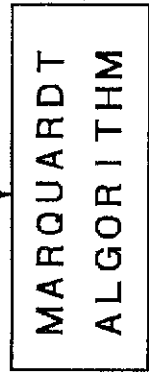
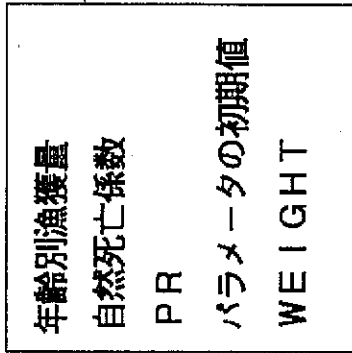
Von Bertalanffy 1978:  $L_{\infty} = 313$  cm;  $k = 0.09$ ;  $t_0 = 0.96$

Figure 1 Growth models considered by the 1990 SCRS for 'age slicing' of the west Atlantic bluefin tuna. The von Bertalanffy (1978) model has been used in past assessments (SCRS/78/37).

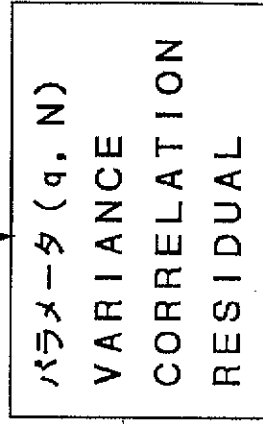
# ADAPTの概要

START

インプットパラメータ



出力



NO

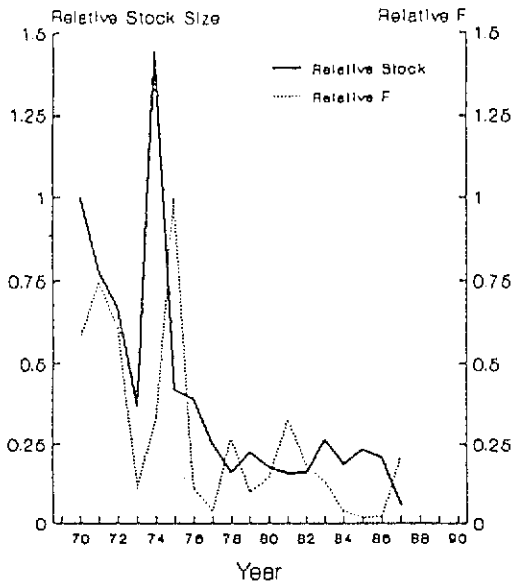


OK

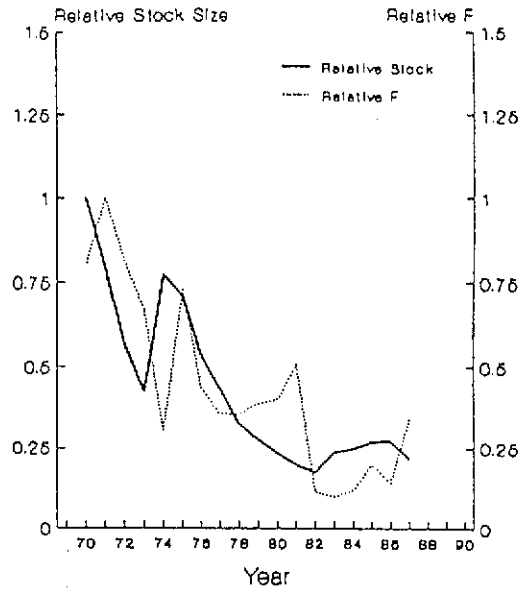


図2. ADAPTの概要

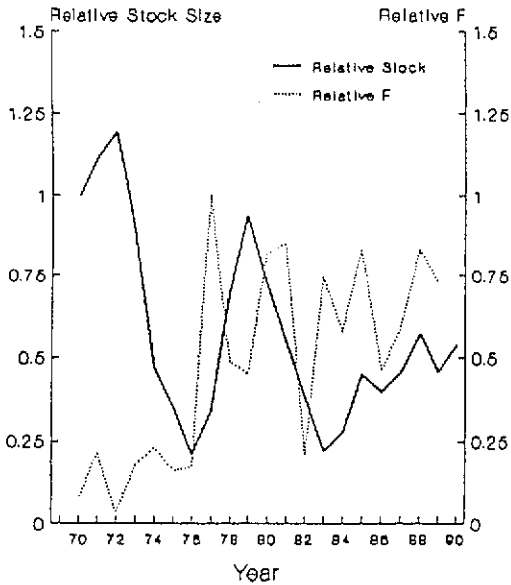
Age 1



Small Fish  
Ages 1-5



Medium Fish  
Ages 6-7



Large Fish  
Ages 8+

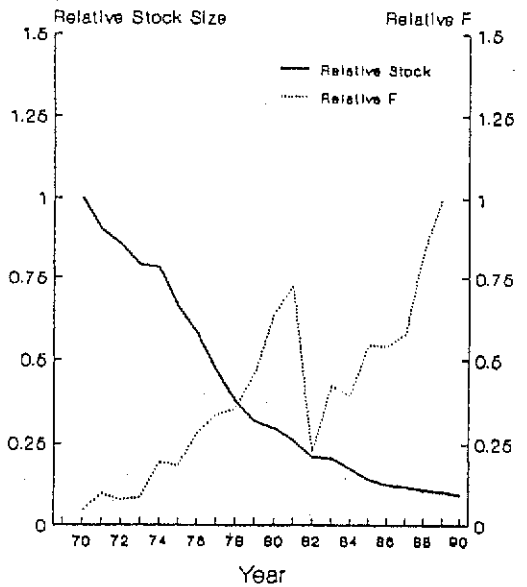


Figure 3. Relative stock size from VPA and associated relative fishing mortality rates estimated by the 1990 SCRS. This comparison can be used to assess the effect of the 1982 catch limitations.



## ミナミマグロ資源評価に適用されるVPAの現状と問題点

遠洋水産研究所  
石塚 吉生

### はじめに

ミナミマグロ（以後SBTという）の資源評価は日、豪、ニュージーランド三国間の科学者会議において毎年行われ、三国行政官会議に科学者会議からの勧告書が提出されている。資源評価の主体はVPAであり、その結果が勧告に大きな影響を与えている。VPAの方法は年々進歩？しているとはいえ、自然現象そのもの、データ及び解析方法に内在する不確実性によって、満足のゆくものにはなっていない。遠洋水産研究所で現在行っているSBTのVPAの概要を説明するとともに、問題点及び改善すべきと考えている点を報告する。

### データ

日本のはえなわ漁業については、規模、餌料、月、5°区画別漁獲尾数及び努力量統計（Yellow Book）と体長統計を使用し、SBT海域別四半期別に体長別漁獲尾数統計を作成した。豪州からは地域別半月別体長別漁獲尾数統計、ニュージーランドからは200哩内における日本船による漁獲重量統計が提供された。

SBTの年齢組成を直接推定する方法が確立されていないので、Kirkwood(1983)の推定したバートランフィー成長式( $L_{\infty}=207.6\text{cm}$ ,  $K=0.127\text{yr}^{-1}$ ,  $t_0=-0.394\text{yr}$ )を用いて体長組成を年齢組成に変換した。変換方法はスライシング法を用いている。表1に1952~1988年の年齢別漁獲尾数を、図1に近年の年齢別漁獲尾数を示す。はえなわ漁業は8歳以上の親魚が主体であるが1987年以降6歳以下の漁獲量が増加する傾向が見られた。表層漁業は3歳魚が主体である。SBTの漁獲尾数の大半は表層漁業によって得られている。

### GLMによるCPUEの標準化

SBT海域別四半期別体長組成データを用いて、Yellow Bookの漁業規模、餌料、月、5°区画別漁獲尾数を年齢別漁獲尾数に変換した。これを年齢階級別（4~7歳、8~12歳）に集計した。この値を投下努力量（はえ縄使用釣数）で除し、各年齢階級毎のCPUE（釣針100本当りのSBT漁獲尾数）の観測値を得た。

SBTのCPUEは年、時期、海域によって異なる上、操業海域も年々変化している為、単純に平均したのでは偏りが生じ、その年を代表するCPUEを推定することは困難である。そこでGeneral Linear Model解析（GLM）によってCPUEの観測値をモデル化し、得られたパラメータからある年におけるはえ縄漁業の年齢階級別CPUEの代表値（Least Square Mean）を推定した。使用したモデルを以下に示す。

$$\log(\text{CPUE(観測値)}) = c + y(\text{年}) + a(\text{SBT海域}) + q(\text{四半期}) + \text{error}$$

- c : 定数項
- y : 漁獲が行われた年特有の値
- a : 漁獲が行われた海域特有の値
- q : 漁獲が行われた四半期特有の値
- error : 誤差

年、海域、四半期の交互作用項を含むモデルも試みたが、パラメータ数が増加しても残差の減少はそれほど顕著ではないので棄却した。推定したモデルによる年齢階級毎の年別CPUE（1970～1988年の平均値を1としたときの相対値）を図2に示す。4-7歳魚のCPUEは1970年 1.8, 1972年 2.0, 1988年 0.23 となり、1970年の約13%に減少している。8-12歳魚のCPUEは1970年 1.9, 1988年 .37 となり、1970年の約19%に減少した。

## VPA

図3に使用したVPAの概略を示す。このVPAは以下の仮説に基づいて組み立てられた。

- ① CPUEと資源尾数は以下の関係を持つ。

$$CPUE_i = a * N_i^b \quad \text{----- (1)}$$

したがって

$$CPUE_i / \sum CPUE_i = N_i^b / \sum N_i^b \quad \text{----- (2)}$$

- ② 21歳魚の資源尾数は一定である。  
 ③ 図3の1988年のBにおける漁獲死亡係数は、同じ年のAの漁獲死亡係数から直線補間によって求められる。  
 ④ 自然死亡係数は 0.2 とする。  
 ⑤ 1985年以降の1歳魚加入尾数はそれ以前の親魚重量(PB)と1歳魚の関係より求められる。

このVPAに入力する7個のパラメータは、1989年の6,9,12,15,20,21歳の資源尾数(P1-P6)及びCPUEと資源尾数の関係式(2)における b の値(P7)である。VPAによって得られた年別の4-7歳魚及び8-12歳魚の資源尾数を上記関係式(2)に当てはめCPUEの推定値(P\_CPUE)を得る。GLMにより推定されたCPUE(0\_CPUE)との残差平方和(SSQ)を下式で求めた。

$$SSQ = \sum \{0\_CPUE(i, 4-7歳) - P\_CPUE(i, 4-7歳)\}^2 + \sum \{0\_CPUE(i, 8-12歳) - P\_CPUE(i, 8-12歳)\}^2$$

SSQの最小値を与えるパラメータ群を求める最適化プログラムは、統計数理研究所のUCOPを用いた。推定されたCPUE及び残差を図2に示す。最適化されたパラメータの値は以下のとおり。

P1 = 866020	1989年当初の6歳魚資源尾数
P2 = 398555	1989年当初の9歳魚資源尾数
P3 = 131244	1989年当初の12歳魚資源尾数
P4 = 115623	1989年当初の15歳魚資源尾数
P5 = 24504	1989年当初の20歳魚資源尾数
P6 = 35090	1989年当初の21歳魚資源尾数
P7 = 2.3454	式(2)の b

推定した漁獲死亡係数(F)を表2に、年当初の資源尾数を表3に示す。推定された資源尾数を重量に換算し親魚重量を推定した。年別の親魚資源重量(PB)及び1歳魚資源尾数を図4に示す。PBは1960年 372千トン、1989年 169千トンとなり約45%となった。1歳魚資源尾数は1960年 6,580千尾、1984年 4,394千尾となり約67%となった。

VPAによって推定された8-20歳魚のPBと翌年の1歳魚尾数の関係を求めた。ただし、1959年から1983年のPB及び1960年から1984年の1歳魚資源尾数を用いた。得られた関係式を図5に示す。この関係式によって1989年の1歳魚資源尾数を推定すると3,503千尾となり、1960年の約53%となった。

1985年以降の推定された1歳魚資源尾数及び forward法を用いて1986年から1989年までの若齢魚の資源尾数を求めた(図3の右上部分)。図6に1985年から1989年の年齢別資源重量の推定値を示す。1989年の7-8歳魚の資源重量が低い水準であることが注目される。これらの年級は1980年代初期に大量に漁獲されたために低いレベルになったと考えられる。しかし、これらの年級の後には高い水準の年級が続いていることがわかる。これは若齢魚の漁獲規制に負うところが大きいと考えられる。

豪州の行ったVPAは12歳を terminal age とし、はえ縄漁業の投下努力量に海域固有の漁獲効率を乗じたFを入れて行っている。その際、標識放流によって推定された全死亡係数を考慮するとともに、CPU EとVPAによって推定された資源尾数との間に式(1)の関係が存在すると仮定して terminal F のチューニングを行っている。式(1)の b の推定値は2.56~3.92であった。日本が行ったVPAとは異なった方法ではあるが、1989年の資源量推定値は日本が推定したものと大きな違いは見られなかった。

## 資源の将来予測

図7にVPAによって推定された1986~1988年の年齢別漁獲死亡係数を示す。はえ縄漁業は成魚主体の漁獲で、12歳魚以降漁獲死亡係数が減少している。表層漁業は3~5歳の未成魚主体の漁獲である。各漁業による年齢別漁獲死亡係数のパターンは将来も1986~1988年の平均パターンのまま推移し、1歳魚加入量は推定した過去の親魚量-加入量関係が保たれると仮定して、各漁業の種々の漁獲量組み合わせにおいての将来予測を行った。図4にその例を示す。

豪州は親魚量-加入量関係に確率論的モデルを当てはめ、巾を持たせた資源の予測値を推定することも行った。

日本、豪州の殆ど全ての推定において、現行程度の漁獲量を継続しても資源量は回復してゆく結果を得た。しかし、親魚量がこのように低い水準で過去の親魚量-加入量関係が維持されるという保証はない、親魚量が増加を始めたという漁業からのデータは未だ得られていない、解析に使用したデータや解析方法は完全なものとはいえない等の不確実性を考慮して、行政官会議への勧告は慎重なトーンとなった。

## 問題点及び改善策

### ①年齢分解の不確実性

スライシング法によって体長組成を年齢組成に変換しているため、推定された年齢組成に偏りが生じている可能性が高い。特に高齢魚の漁獲尾数の偏りが大きくなると考えられる。図7の様に、Fが高齢魚ほど低い値となる原因の一つはこのためかもしれない。高齢魚を+グループとして処理することも一つの方法と考えられる。

### ②CPU Eの標準化法

5°区画データを使用して、CPU Eの誤差が対数正規分布するとの仮定の基に標準化を行ったが、一操業毎のデータによってCPU Eの標準化を行うときは対数正規分布するとは限らない。計算量は膨大になるが試してみる価値は大きいと思われる。

### ③CPU Eと資源尾数の関係

Power Function を仮定し、線型ではないとの推定値を得たが(資源量が2倍になるとCPU Eが約5倍になる)、現実的なものであるという確信が得られていない。はえ縄漁業の実験或いは、はえ縄漁業の数理モデルによるシミュレーションによってこの関係を再検討する必要がある。

④ V P A の最高齢部分の扱い

最高齢部分の資源尾数は一定と仮定したが、高齢部分を+グループとして扱う時は同じ年の1歳若い年齢に対するFと+グループに対するFとが等しいという仮定を置く方法もある。

⑤ 最終年の若齢魚に対する漁獲死亡係数

4~12歳魚のCPU Eは得られているが、若齢魚についてのCPU Eが無いのでV P Aから直接推定できない。現在は過去の親子関係から近年の1歳魚加入尾数を推定しForward法によって近年の若齢魚の資源尾数及びFを推定している。最終年のFは前年(或いは数年の平均)のFと等しいと仮定し、Backward法によって推定することも可能であるが、漁獲規制が導入されている現在は前年とFが等しいという仮定は成り立たない可能性が高いと思われる。いずれにせよ、この部分の推定値は誤差が大きいと考えられる。

⑥ 自然死亡係数

この値によってV P Aの結果が変化するので、影響を検討しながらV P A解析を進める必要がある。

⑦ 親魚量と加入量の関係

V P Aの結果によれば正の相関関係があるように見られるが、現在のように親魚量が非常に低い場合に過去の関係が保たれているという保証はないし、親魚量だけで加入量が決定されるという証拠もない。

表 1. ミナミマグロ年齢別漁獲尾数推定値

< Catch Number >										
	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1	263	516	452	321	828	947	1909	1929	2321	1537
2	8055	15830	13865	9869	25309	29110	58558	59224	71339	47564
3	5852	11984	11192	9069	23767	42194	63109	69239	100256	117716
4	2057	4922	5666	5114	10982	68921	54827	44778	64259	95653
5	569	2130	3364	3099	4006	76836	36986	48836	41333	81346
6	88	500	178	161	444	42685	21754	82574	43582	83028
7	106	2031	207	286	1207	40520	25791	173266	187464	122900
8	163	4970	2318	2912	12158	47605	37330	287453	373828	292043
9	1112	15511	9922	7764	37977	67184	40959	231928	313278	323069
10	1699	14800	10401	8051	41787	52999	26334	129482	163083	203732
11	1776	8146	5568	3598	18407	27487	12516	46610	82312	89196
12	814	2846	1717	1240	6188	10075	4419	13309	18606	28032
13	309	851	397	350	1372	3514	1493	3321	4731	8021
14	134	155	25	125	473	851	281	560	1462	2914
15	0	22	64	17	14	305	164	158	432	682
16	0	13	26	3	2	84	27	47	377	259
17	0	0	57	0	0	15	9	27	160	91
18	0	0	0	4	0	0	1	37	0	58
19	0	0	0	2	0	0	0	6	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
1	1359	2820	1335	5380	11851	0	23476	32039	80603	3179
2	42561	87152	232225	21325	56881	270789	477432	798273	702231	489484
3	152798	197581	235334	180092	229439	134749	320758	277189	166420	337715
4	127458	154209	204764	224709	299967	165028	151265	128527	90443	125737
5	77551	131637	115246	122013	92889	67819	97443	73771	105894	78806
6	50107	99068	67531	68752	79871	63675	66381	91391	54919	69681
7	89295	122792	103078	113309	72257	111203	96972	92000	71338	59869
8	152779	204656	184137	170641	150000	193158	138118	133309	90231	91868
9	145440	204682	144806	128744	136600	217509	141241	144630	113490	111488
10	86754	141574	91753	69238	74856	132573	117081	109901	88226	80313
11	43572	66136	38109	36940	38133	70975	61987	61724	58456	47923
12	19379	24486	14380	17338	19240	32645	33227	31002	32587	26427
13	6267	5601	4076	8259	6590	12906	13046	12799	13965	11852
14	2442	1636	1155	2367	2305	4249	5590	5848	7474	5585
15	553	395	652	785	673	1408	2361	2309	2481	2330
16	111	202	103	286	97	350	1160	898	1076	990
17	3	44	31	84	16	249	603	524	377	278
18	9	12	30	49	20	70	258	119	216	139
19	0	20	0	13	28	9	180	50	51	105
20	0	0	0	47	33	12	81	143	114	50

表 1. (続き)

< Catch Number >		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
1	17146	3623	94454	160866	139902	101964	223626	411934	120121	139851	
2	278197	200721	480717	566028	393227	525096	496182	511552	847194	584039	
3	491604	218692	324262	318312	329723	456838	304554	283034	531678	371349	
4	340805	482667	235101	111181	222618	271193	204538	170230	133054	289918	
5	141187	152111	227394	59459	57867	94070	147343	90217	101776	137044	
6	98848	101110	119779	56551	46386	35893	75490	116824	59327	92422	
7	91184	78797	88000	57471	87349	54769	55808	61669	71761	56981	
8	100851	75227	92262	72000	111829	134207	75739	73273	80312	72671	
9	107004	71788	86140	76289	104169	113479	78136	78816	108362	81021	
10	73179	53354	62435	51211	74527	56181	44670	51420	84225	68921	
11	38839	32277	30612	24065	34352	23263	20866	28259	37270	34904	
12	19572	15897	15057	12834	14938	10167	10235	13333	17891	17572	
13	8617	6972	6030	4058	6530	2804	3472	7970	7109	7100	
14	3606	2905	2435	1408	2205	951	1855	2456	2406	2931	
15	1401	1277	756	498	2035	219	360	1266	1189	1089	
16	806	429	313	273	610	132	254	655	391	465	
17	424	164	104	96	54	132	142	183	224	173	
18	35	7	68	53	48	27	78	173	116	218	
19	37	9	28	8	14	24	31	260	41	163	
20	0	72	44	28	152	14	19	267	36	148	

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
1	195444	95348	27549	12913	1661	8580	9756
2	1015334	1155957	759097	376809	222843	212107	328640
3	886263	539130	450718	268131	438794	193340	546908
4	184351	190884	140559	165832	197781	309348	142480
5	96304	92219	91046	115219	131150	95839	66769
6	65365	81585	56343	72762	39470	32761	19034
7	39625	72183	44095	44194	19978	16034	8226
8	53691	84748	54622	48911	24191	18183	12657
9	55341	62697	61096	59005	34712	28068	22660
10	45212	49282	50366	47769	35966	31891	26042
11	32851	30097	33840	32414	26891	24124	18040
12	16543	18253	22200	19046	17447	16920	12830
13	7430	9702	11249	10552	10959	10549	7399
14	3080	4611	5178	5492	5538	6680	5490
15	865	1585	2130	2188	2528	3262	2543
16	287	534	702	687	1036	1518	1277
17	100	225	284	175	445	511	625
18	176	122	109	66	217	324	737
19	15	57	51	62	109	124	127
20	8	19	21	55	165	219	409

表 2. ミナミマグロ年齢別漁獲死亡係数推定値

< F >

	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1	.000040	.000074	.000073	.000059	.000153	.000166	.000314	.000301	.000390	.000266
2	.001917	.002943	.002415	.001937	.005659	.006616	.012590	.011965	.013645	.009790
3	.002315	.003493	.002548	.001933	.005719	.011621	.017727	.018465	.025196	.028073
4	.001278	.002383	.002023	.001425	.002867	.020520	.018724	.015622	.021351	.030183
5	.000492	.001619	.001934	.001354	.001365	.024828	.013683	.020776	.017910	.033929
6	.000101	.000528	.000166	.000117	.000238	.017936	.008734	.038278	.023137	.045329
7	.000165	.002861	.000268	.000326	.001069	.026770	.013447	.089072	.114358	.084008
8	.000328	.009551	.004002	.004593	.016997	.052858	.031003	.202982	.280663	.261321
9	.002872	.038859	.023673	.016540	.078066	.122732	.058729	.271804	.354990	.417394
10	.005605	.047868	.032996	.024028	.115929	.144523	.064620	.264948	.312063	.412768
11	.007380	.033454	.022796	.014279	.070271	.104000	.045964	.155592	.196644	.280753
12	.004197	.014600	.008799	.006294	.030668	.049911	.021784	.063014	.085751	.127313
13	.001957	.005386	.002509	.002202	.008568	.021843	.009312	.020425	.028661	.048323
14	.001039	.001203	.000192	.000965	.003650	.006543	.002158	.004293	.011156	.022124
15	.000000	.000211	.000607	.000156	.000136	.002880	.001547	.001489	.004066	.006417
16	.000000	.000152	.000302	.000038	.000027	.000965	.000308	.000537	.004341	.002983
17	.000000	.000004	.000798	.000000	.000000	.000207	.000130	.000375	.002256	.001280
18	.000000	.000000	.000000	.000069	.000000	.000000	.000021	.000645	.000000	.001002
19	.000000	.000000	.000000	.000036	.000000	.000000	.000000	.000122	.000000	.000002
20	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
1	.000250	.000533	.000279	.001238	.002367	.000000	.004146	.004982	.009990	.000609
2	.009012	.019700	.054983	.005455	.016123	.068354	.118045	.188771	.143179	.104134
3	.039347	.052658	.067814	.055004	.074513	.048145	.107903	.093088	.064479	.094854
4	.038372	.050725	.070872	.085349	.122063	.070386	.069995	.057428	.039691	.053053
5	.030814	.050594	.048663	.054949	.045958	.036562	.054040	.044168	.061321	.044044
6	.026311	.050043	.033067	.037019	.046222	.040265	.045533	.065708	.041929	.052172
7	.062829	.083081	.067419	.071343	.049511	.083812	.079450	.082091	.066941	.058688
8	.142640	.199806	.172492	.151780	.127217	.181169	.142137	.149295	.108078	.115195
9	.200696	.288046	.212076	.175264	.174586	.274029	.195221	.217042	.183121	.188761
10	.186984	.306229	.202157	.148628	.146302	.255943	.232403	.229124	.199250	.190767
11	.143959	.212410	.125735	.116899	.114125	.201242	.182454	.184679	.183217	.158271
12	.090234	.112423	.065074	.077433	.082223	.135093	.136511	.130540	.140285	.117824
13	.037836	.033935	.024528	.048330	.038119	.072812	.073294	.071379	.079892	.069329
14	.018589	.012377	.008734	.017768	.017033	.031080	.040797	.042553	.054233	.041502
15	.005201	.003711	.006079	.007313	.006243	.012903	.021665	.021242	.022788	.021461
16	.001285	.002326	.001188	.003276	.001113	.003989	.013153	.010227	.012294	.011298
17	.000045	.000615	.000432	.001179	.000229	.003479	.008448	.007332	.005280	.003914
18	.000154	.000209	.000523	.000841	.000338	.001195	.004431	.002050	.003710	.002384
19	.000000	.000412	.000000	.000266	.000591	.000198	.003764	.001040	.001079	.002215
20	.000000	.000000	.000000	.001212	.000849	.000317	.002083	.003661	.002928	.001289

表 2. ( 続き )

&lt; F &gt;

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
1	.004220	.000769	.017709	.030312	.030246	.023900	.050774	.086711	.024164	.030280
2	.067224	.062317	.132916	.139849	.096276	.151396	.154844	.156970	.257341	.156572
3	.144493	.069160	.135499	.122156	.112992	.154630	.123127	.124136	.242548	.171203
4	.130754	.206077	.098597	.062773	.117653	.127995	.096001	.093758	.078987	.202145
5	.077632	.079276	.141363	.032569	.042072	.066668	.095040	.055850	.074509	.109085
6	.071446	.073232	.082671	.047296	.032053	.033100	.069960	.101526	.047241	.089681
7	.089431	.074835	.084203	.051855	.095738	.048100	.066007	.075046	.083595	.058410
8	.132630	.098995	.117715	.091873	.135038	.208493	.086838	.115785	.132213	.114052
9	.190525	.131601	.157120	.134824	.186061	.197245	.180235	.122438	.250051	.191163
10	.182213	.136891	.161741	.131926	.188822	.144795	.110914	.172884	.186118	.249355
11	.132693	.114061	.108539	.086376	.122799	.082701	.073461	.096033	.182785	.109454
12	.089527	.073653	.071374	.060550	.070870	.048447	.047465	.061289	.080248	.122857
13	.051140	.041639	.036080	.024675	.039577	.016998	.020929	.047340	.042045	.041372
14	.027075	.021853	.018313	.010535	.016718	.007213	.013946	.018444	.018045	.021872
15	.013072	.011942	.007051	.004627	.016872	.002049	.003350	.011780	.011070	.010119
16	.009214	.004930	.003597	.003130	.006961	.001506	.002903	.007487	.004482	.005333
17	.005969	.002301	.001459	.001359	.000755	.001854	.001994	.002568	.003140	.002431
18	.000595	.000117	.001161	.000905	.000831	.000467	.001336	.002970	.001986	.003755
19	.000070	.000186	.000593	.000168	.000285	.000504	.000640	.005464	.000865	.003842
20	.000000	.001859	.001127	.000728	.003908	.000358	.000477	.006857	.000929	.003800

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
1	.055480	.032666	.006940	.003378	.000468	.002537	.002969
2	.316529	.525805	.387132	.123434	.073909	.075599	.126251
3	.375439	.276611	.400696	.228776	.206534	.084767	.282983
4	.120271	.128234	.107314	.251075	.263267	.220019	.082978
5	.095468	.081358	.083128	.120357	.322091	.196562	.067254
6	.069575	.109401	.065358	.088398	.055061	.123664	.054260
7	.050415	.102145	.079430	.066893	.031516	.028500	.041265
8	.071722	.144865	.104687	.118701	.047372	.036239	.028270
9	.119188	.112407	.147636	.157224	.116696	.071197	.057789
10	.155093	.148054	.123679	.164738	.135593	.147891	.087307
11	.180396	.146677	.143690	.109269	.131480	.126682	.116825
12	.069353	.144155	.153511	.112364	.078997	.114309	.091873
13	.069958	.052826	.124149	.101378	.087317	.062630	.066920
14	.022637	.056513	.036011	.082159	.070887	.070363	.041967
15	.007999	.014500	.033356	.019108	.049366	.054305	.034510
16	.003282	.006076	.007933	.013464	.011223	.037830	.027053
17	.001403	.003149	.003970	.002432	.010789	.006825	.019596
18	.003027	.002093	.001865	.001126	.003689	.009673	.012139
19	.000321	.001206	.001064	.001294	.002284	.002579	.004681
20	.000211	.000485	.000536	.001417	.004236	.005629	.010477



表 3. ミナミマグロ年齢別資源尾数推定値

< Stock Number at the beginning of the year >

	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1	7260017	7746882	6872524	6044093	5950174	6307213	6711391	7094268	6580823	6393645
2	4640342	5943762	6342127	5626337	4948195	4870843	5163053	5493094	5806550	5385822
3	2792547	3791915	4852041	5179970	4597541	4028379	3961616	4174264	4443877	4689573
4	1776874	2281058	3093732	3962406	4232809	3742681	3260051	3186505	3355071	3547812
5	1279034	1452923	1863126	2527815	3239524	3455611	3002011	2619592	2668451	2688874
6	957834	1046669	1187629	1522360	2066801	2648679	2759835	2424436	2100641	2065544
7	704608	784129	856488	972187	1246257	1691751	2130008	2239914	1910417	1680524
8	548248	578789	640156	701046	795700	1019259	1348502	1720610	1677802	1395097
9	427607	448720	467746	522022	571338	640485	791534	1070356	1149926	1037384
10	335357	349091	353378	373998	420384	433510	463819	611090	667769	660147
11	266467	273033	272452	279931	298934	306507	307167	359980	383867	400166
12	214483	216561	216186	218038	225939	228138	226160	240189	249456	258179
13	174465	174868	174735	175447	177394	177396	177690	181174	184641	187453
14	142519	142561	142401	142703	143328	143999	143704	144132	145334	146900
15	116622	116563	116579	116566	116722	116920	117127	117401	117500	117669
16	95389	95482	95414	95389	95421	95551	95450	95748	95977	95810
17	78095	78098	78162	78095	78095	78122	78155	78124	78349	78239
18	63938	63938	63941	63943	63938	63938	63948	63980	63939	64003
19	52348	52348	52348	52350	52348	52348	52348	52355	52348	52348
20	42859	42859	42859	42859	42859	42859	42859	42859	42859	42859
21+	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
1	6020098	5849478	5283112	4797413	5529977	5767100	6259875	7112359	6725293	5763523
2	5233283	4927609	4788596	4324238	3922930	4516857	4721702	5103947	5794168	5451469
3	4366579	4246208	3955684	3709349	3521125	3160455	3453755	3435370	3459913	4111025
4	3733211	3437116	3298177	3026295	2674425	2675851	2465936	2538465	2562637	2682540
5	2818340	2941431	2874888	2515568	2275022	2082960	2041901	1862454	1962328	2016464
6	2126023	2237443	2289429	2085993	1949455	1778966	1644158	1583823	1474632	1511058
7	1616179	1697034	1742447	1813457	1645798	1523984	1399013	1266205	1214259	1157751
8	1265032	1242637	1278645	1333586	1382498	1282248	1147420	1057933	970062	929780
9	879539	898038	833126	881006	938091	996681	875855	814956	746039	712858
10	559511	589162	551238	551758	605345	645007	620423	589916	537051	508597
11	357700	379965	355126	368710	389351	428161	408838	402622	384082	360266
12	247430	253594	251557	256400	268570	284393	286648	278903	274052	261815
13	186110	185100	185548	192982	194281	202530	203418	204741	200402	195007
14	146234	146717	146490	148233	150546	153114	154173	154774	156080	151477
15	117640	117521	118644	118893	119226	121175	121523	121180	121439	121041
16	95723	95816	95862	96549	96632	97006	97938	97362	97129	97186
17	78209	78271	78265	78392	78789	79028	79106	79137	78903	78551
18	63975	64029	64043	64050	64106	64492	64478	64222	64318	64260
19	52348	52370	52412	52407	52396	52468	52739	52556	52472	52464
20	42859	42859	42859	42911	42896	42873	42949	43016	42985	42915
21+	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090

表 3. (続き)

&lt; Stock Number at the beginning of the year &gt;

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
1	4491500	5197507	5935257	5941505	5178363	4761718	4979599	5464176	5545976	5170721
2	4715902	3661842	4252086	4774080	4719251	4113371	3806494	3875114	4102113	4434652
3	4021885	3610031	2816933	3048026	3398563	3509150	2894601	2669429	2711779	2596492
4	3061236	2849826	2758139	2014054	2208555	2485218	2461432	2095348	1930398	1741866
5	2082797	2199137	1898723	2046147	1548640	1607508	1790268	1830780	1551991	1460443
6	1579806	1577876	1663276	1349613	1621562	1215682	1231234	1332858	1417496	1187027
7	1174260	1204249	1200631	1253723	1053926	1285743	962911	939936	985900	1106997
8	893858	879156	914865	903612	974591	784102	1003242	738007	713917	742453
9	678411	640928	651949	665848	674875	697136	521154	753067	538167	512117
10	483244	459082	460041	456161	476390	458732	468593	356314	545507	343133
11	344085	329741	327778	320401	327314	322924	324950	343374	245409	370776
12	251784	246706	240868	240759	240615	237014	243402	247203	255645	167359
13	190531	188490	187643	183621	185536	183521	184874	190043	190361	193164
14	148964	148217	148029	148185	146672	146009	147722	148227	148400	149437
15	118977	118704	118726	118996	120052	118094	118663	119269	119140	119327
16	96996	96145	96033	96522	96976	96453	96489	96845	95506	96470
17	78675	78685	78330	78343	78778	78847	78850	78770	78698	78659
18	64061	64030	64274	64038	64054	64450	64435	64428	64326	64231
19	52486	52417	52418	52562	52382	52400	52742	52684	52593	52561
20	42859	42939	42908	42890	43027	42875	42880	43154	42899	43022
21+	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
1	3991953	3271578	4394413	4224231	3922565	3735636	3630303	3503910
2	4107160	3091947	2592458	3572958	3446844	3210038	3050730	2963428
3	3104577	2450282	1496300	1441197	2585606	2620983	2436795	2201479
4	1791330	1746193	1521341	820616	938660	1721896	1971476	1503357
5	1165106	1300420	1257598	1118824	522685	590628	1131345	1485579
6	1072138	867052	981502	947504	812143	310098	397273	866020
7	888492	818797	636318	752745	710119	629305	224354	308082
8	854910	691672	605260	481193	576418	563369	500754	176260
9	542348	651498	489922	446306	349872	450096	444823	398555
10	346330	394145	476691	346059	312243	255155	343183	343741
11	218932	242614	278290	344877	240296	223227	180166	257484
12	272093	149660	171678	197349	253134	172499	161016	131244
13	121161	207845	106082	120555	144403	191509	125975	120257
14	151740	92511	161413	76712	89187	108342	147275	96463
15	119702	121454	71580	127479	57853	68023	82676	115623
16	96713	97223	98006	56682	102396	45084	52749	65393
17	78563	78922	79117	79607	45787	82899	35542	42034
18	64244	64232	64413	64519	65016	37065	67410	28534
19	52391	52440	52478	52639	52764	53036	30070	54525
20	42868	42880	42882	42920	43041	43101	43311	24504
21+	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090	35090

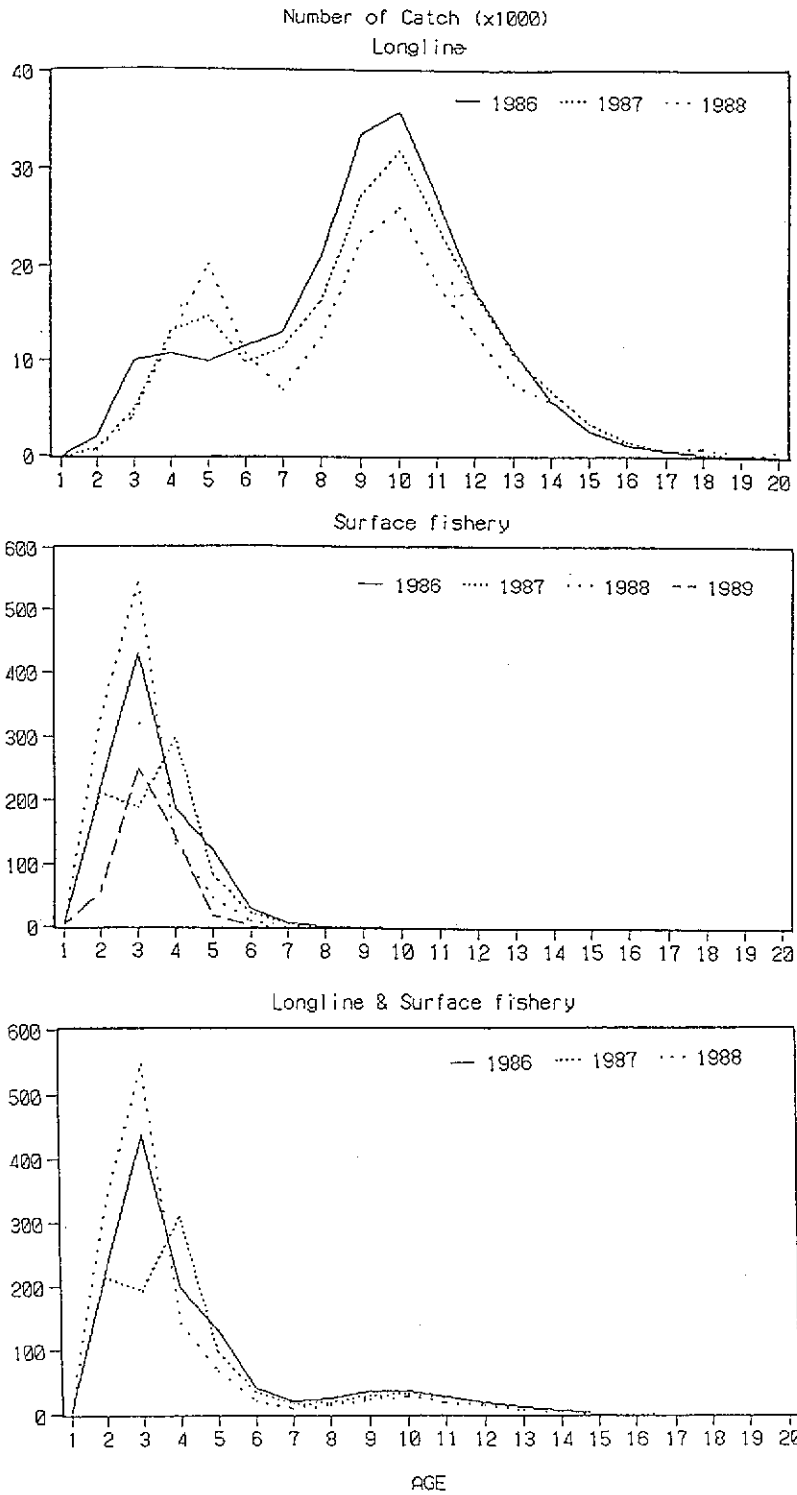


Figure 1. Number of catch for SBT by age.

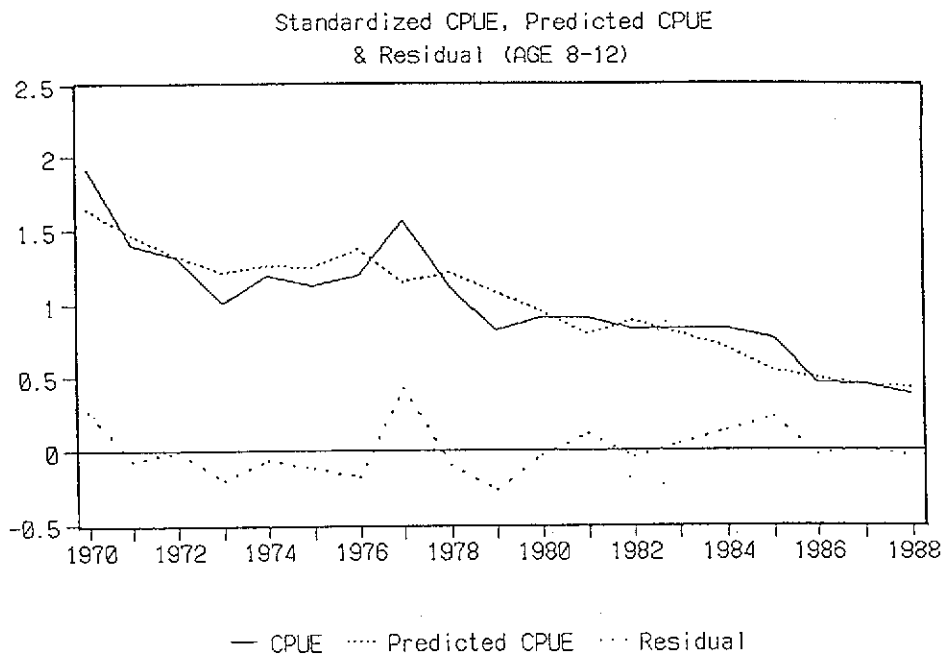
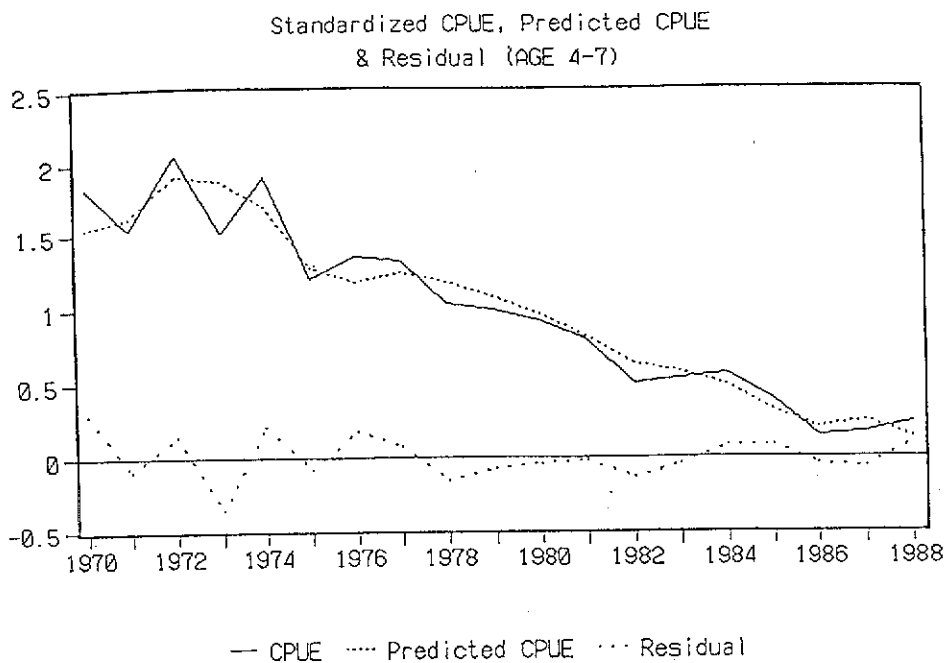


Figure 2. Standardized CPUE estimated by GLM, Predicted CPUE estimated by VPA and residuals of these CPUE's.



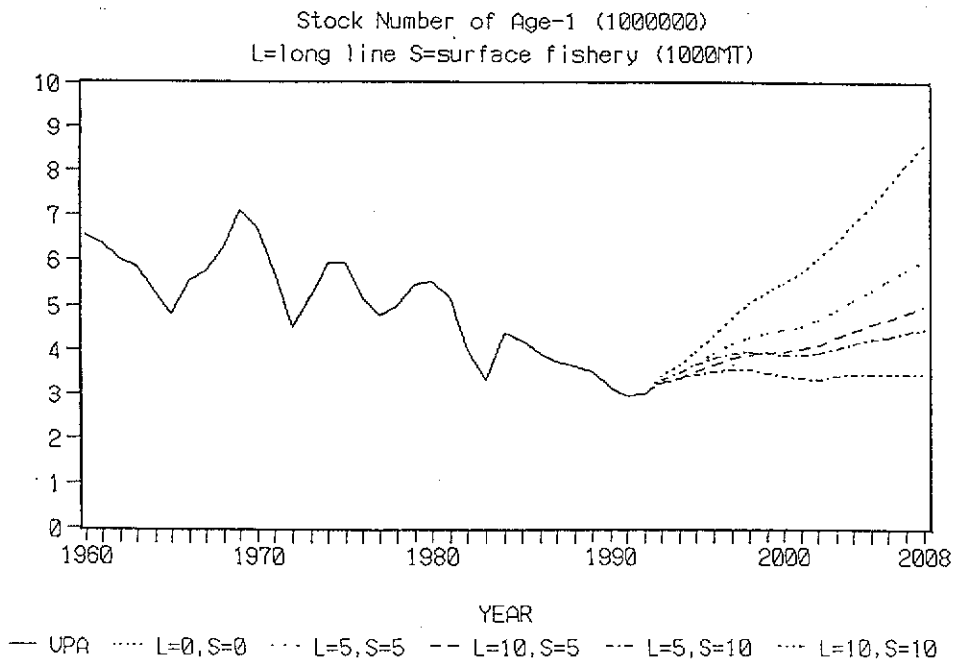
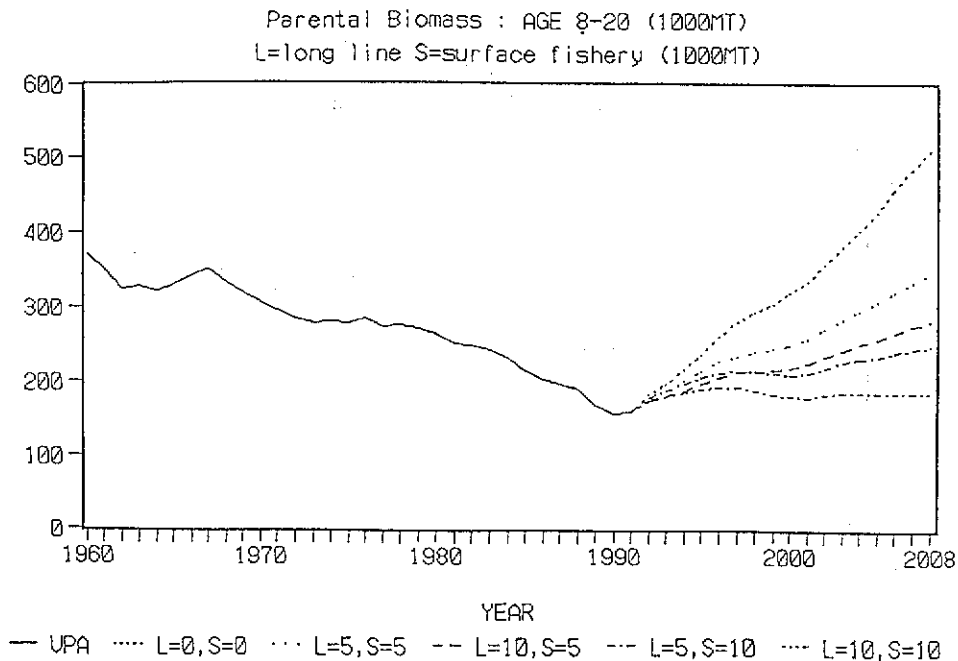


Figure 4. PB (upper) and number of stock at age-1 (lower) estimated by VPA. Results of future stock projections under the catch combinations of longline and surface fisheries.

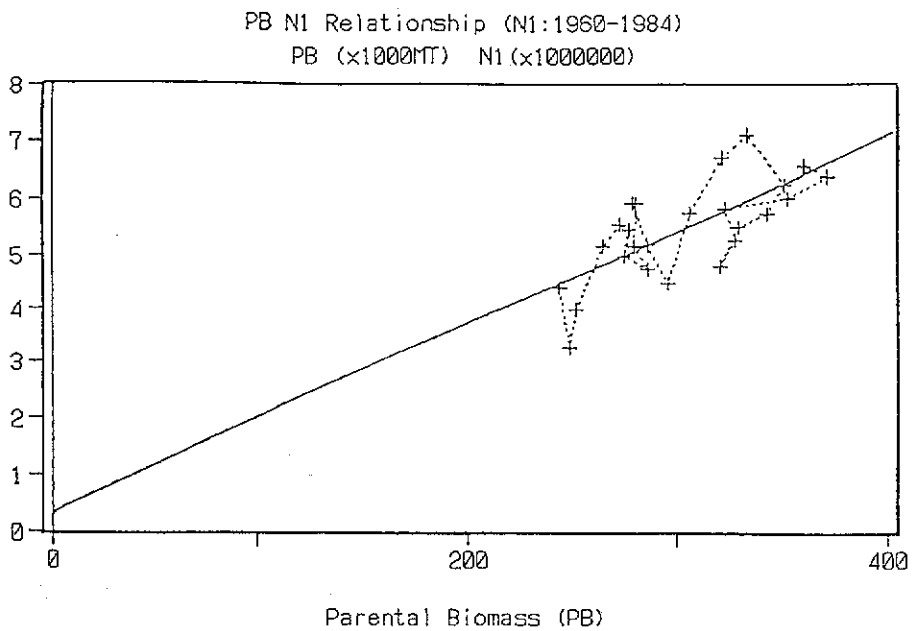


Figure 5. Relationship between parental biomass (PB) and number of stock at age-1 (N1).

$$N1 = 249001 + 17.1497 \times PB$$

Stock Weight (1000MT)

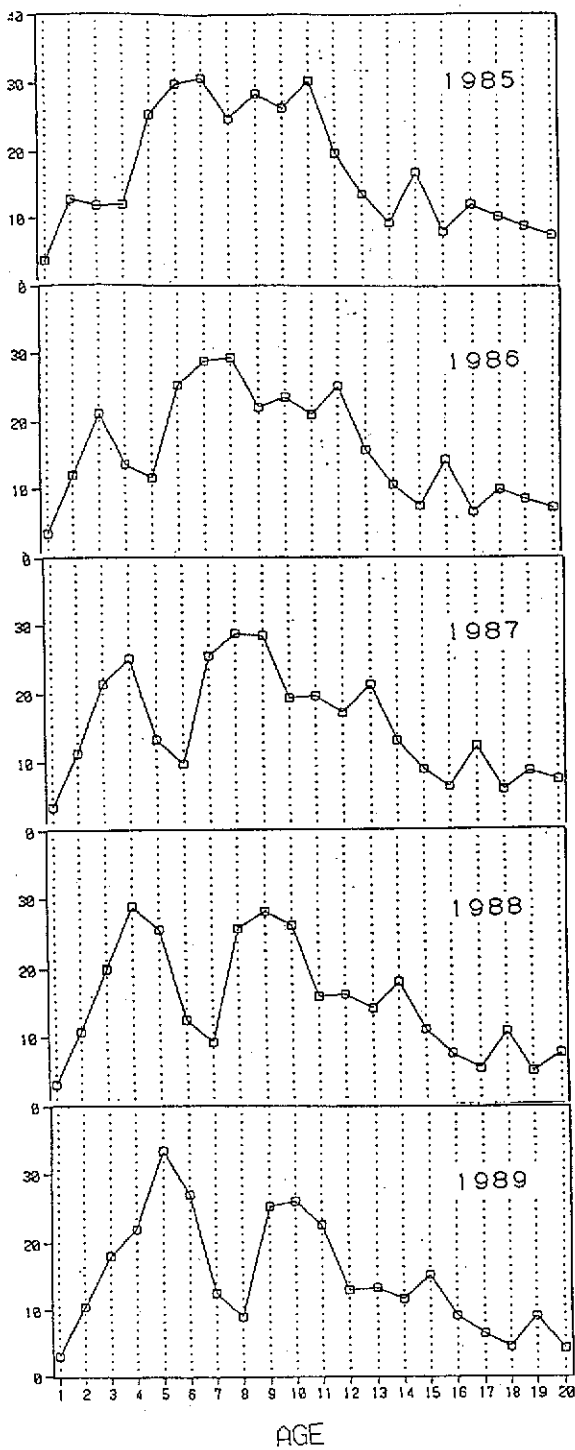


Figure 6. Estimates of stock weight by age in recent years.



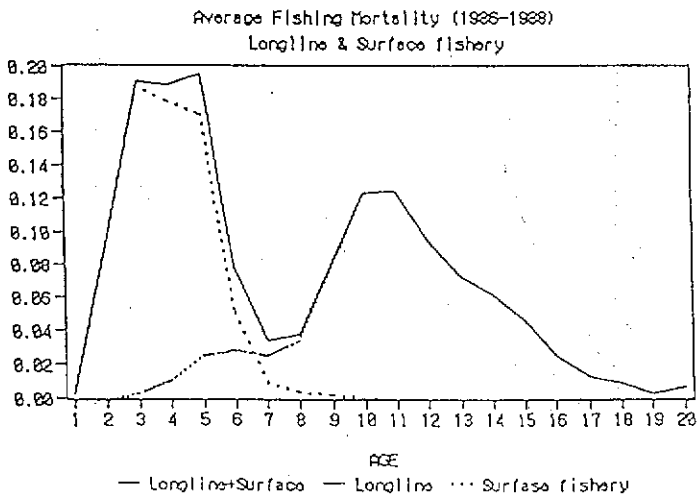
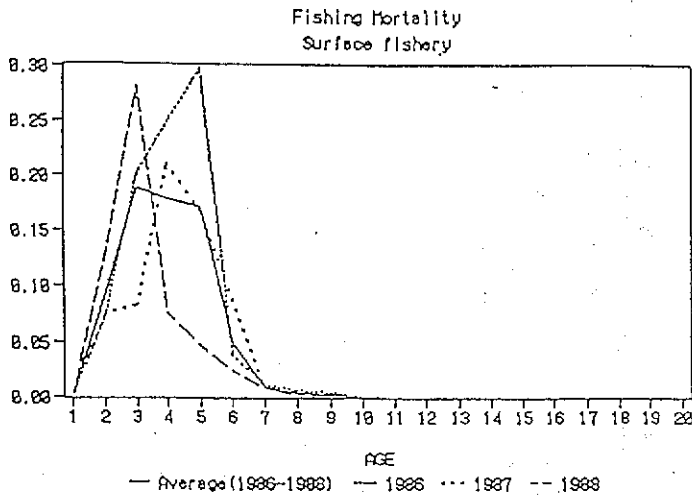
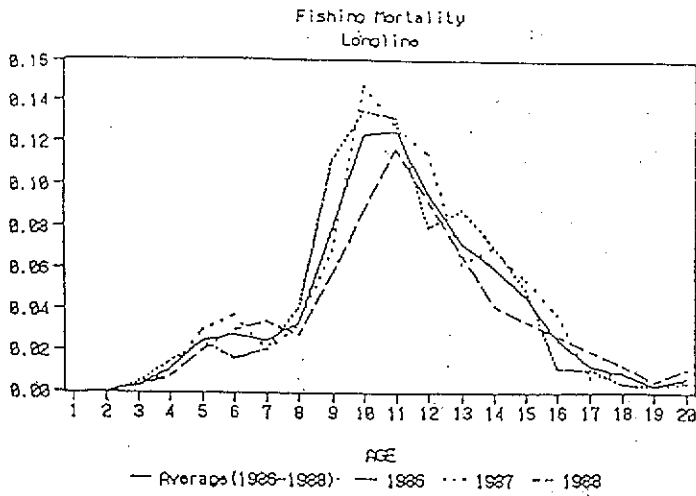
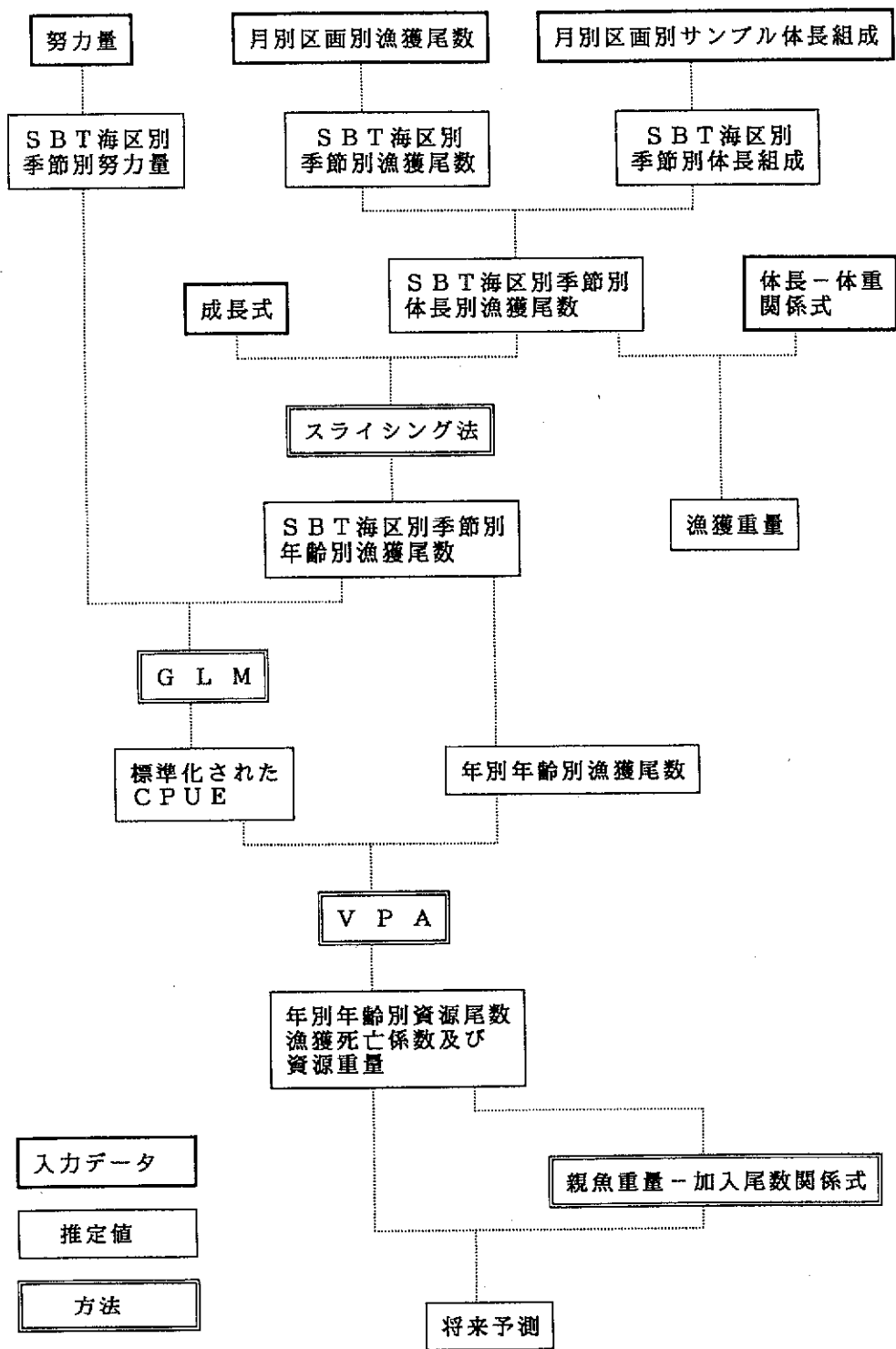


Figure 7. Estimates of fishing mortality coefficients by age in recent years.



## V P Aに含まれる不確実性について

遠洋水産研究所  
辻 祥子

### 1. はじめに

昨年、オーストラリアのホバートで行われた第9回ミナミマグロ三国者会議の科学者会合では、V P Aによる資源量推定に含まれる不確実性についての論議に多く時間がさかれた。資源量推定に含まれる不確実性の中にも資源やパラメータ自身の変動に起因する生物資源に固有な不確実性と、V P Aという手法そのものやデータの不確実性が原因となる場合とが考えられる。会議の中では特に後者に焦点があてられたが、こうした技術的な問題に伴う不確実性は他の魚類資源を取扱う場合にも共通するものと思われる。そこで三国者会議での論議を基にミナミマグロと大西洋クロマグロで用いられているV P Aについて考えてみた。なお会議の最終レポートの該当部分をAppendixに示す。

### 2. V P Aによる資源量推定に不確実性を与える因子

V P Aに用いられるモデル、パラメータ、データのいずれに不確実性が含まれていても、結果として得られる資源量推定値に不確実性が導入される。そこでまず大西洋クロマグロ、ミナミマグロの両種で実際に用いられている手法やデータを見ながら各因子の及ぼす影響を検討した。参考のためにV P Aの基本的な手順を図1に示した。

#### 2.1. データ

V P Aに必須のデータが年別・年齢別漁獲尾数(Ca,y)である。直接Ca,yを求めることができれば理想的だが実際には不可能なため、利用可能な基礎情報の状態により図1に見られるような様々な推定や補間を行う。当然このプロセスが短ければ短いほどCa,yに含まれる不確実性は小さくなる。

現在ミナミマグロ、大西洋クロマグロでは基本的には体長別漁獲尾数と体長-年齢関係からCa,yを求めている。使用している基礎情報の現状は下記の通りである。

	大西洋クロマグロ	ミナミマグロ
漁獲データ	基本的には漁獲尾数 不明な漁獲量は推定して加算	基本的には漁獲尾数 3国以外の漁獲量は無視
体長-体重関係	毎年同じものを使用 西は月別、東は季節性無視	毎年同じものを使用 季節性、海域差は考慮せず

サイズデータ	体長、体重の両者を使用   延縄漁業は体長組成   層:月別、200海里内外	表層漁業は体長組成   延縄漁業は体長、体重が約半々   層:四半期別、SBT海区别
成長式の基礎	西は標識放流結果   東は脊椎骨による年齢査定	標識放流結果
体長-年齢変換	スライシング法   層:月別、1cm単位	スライシング法   層:四半期別、2cm単位
資源量指数	資源尾数と直線関係   複数の資源量指数を使用	資源尾数との関係はべき関数

ここで最も問題となると思われるのは体長-年齢の変換にスライシング法と呼ばれる方法を用いている点である。これは体長と年齢との関係を1対1に規定する方法であり、例えば150-153cmの魚は16歳、154-156cmの魚は17歳という具合に一意的に決めてしまう。くろまぐろ類は寿命が長く比較的若齢で成長式が漸近線に近づいてしまうため体長モードから年級群を判別するのが困難である。ミナミマグロの例では各年級群が平均体長の約4-5%の分散を持つと仮定すると、体長モードから年級群判別ができるのはせいぜい5-6歳、120cm前後までである。スライシング法はこの問題に対する最も単純な解決法だが、同時に年級群間の資源強度の差をならしてしまい卓越年級群の存在をすっかり覆い隠してしまう。VPA法では加入量推定値への寄与は若齢部分よりも高齢部分の方がはるかに大きいため結果として加入量の変動幅も大幅に過小推定となる。大西洋クロマグロでは年級群判別に伴う不確実性を取除くために、寿命が30年近くあるにも関わらず10歳以上の年齢群をプラス・グループとして以後の解析を避けている。体長-年齢変換に伴う影響については1990年5月に開かれた‘世界くろまぐろ類会議’でも重要視されており、この問題に対する作業グループが組織されている。

Ca,yに不確実性を導入するもう一つの重要な要因として漁獲尾数そのものの推定がある。Ca,yさえわかれば漁獲率が不明であっても資源量の推定ができるというのがVPAの大きな利点であるが、逆にCa,yが完全に把握されていなければ推定資源量は過小になる。ただし解析に含まれていない部分の漁獲パターンが解析対象となっている部分の漁獲パターンとほぼ同一であれば、推定資源量は全体に過小とはなるが変動の傾向自体にはそれほど大きく影響を及ぼさない。しかし不明漁獲分が資源の特定部分のみを利用していたり漁獲パターンがまったく不明の場合には、推定の絶対値だけでなく変動傾向等にも深刻な影響を及ぼす可能性がでてくる。ミナミマグロでは台湾、インドネシアによる漁獲がこの部分にあたる。いずれにしてもCa,yはVPAの根幹であり、正確さや精度を充分把握し、情報が不足している部分の及ぼす影響を注意深く検討しておくが必要である。

## 2.2. パラメータ

VPAに最低限必要なパラメータは自然死亡係数(M)と最高年齢または最終漁獲年の漁獲死亡係数(F term)の2つである(図1)。

原則としてMは他の知見と矛盾しない範囲である程度恣意的に決められている。標識放流結果等から多少の検討は加えられているもののMの値を特定できるまでにはいたっていない。使用されたMの値が真値とは異なっている場合には推定資源量の絶対値が大きく変化する。しかしMの影響はすべての年、すべての年級に同じように作用するために推定資源量の変動傾向は比較的保存されやすいようである。ただし時代により漁獲物の年齢構成が大きく変化しているような場合はこの限りではない。また若齢時や最高齢付近でMが高くなることは充分予想されるが、Mが年齢・性別に固有に変化する場合にもVPA推定値に系統的な誤差が生じる可能性がある。

F termとしては大西洋クロマグロ、ミナミマグロとも最終漁獲年の特定の年齢群の漁獲死亡係数をとっている。しかしミナミマグロでは寿命に近い部分まで解析の対象としているのに対し、前項でも述べたように大西洋クロマグロではかなり若齢の部分(9歳)で解析をうちきっている。9歳のFは一種の連鎖法で求められており年変動・年級変動の影響を一応考慮している。しかし10歳以上の年齢群は平均して全漁獲尾数の約20%、多い年には全体の40%近くをも占めており、これだけの部分を解析から除外するということは資源量・加入量の推定に大きな不確実性を生じさせる要因になると思われる。

F termは一般に目的関数を最適化するように繰り返し計算で求められる。目的関数に関わる問題については次項で述べる。

## 2.3. モデル

VPAに用いられているいくつかのモデルの中で資源量推定に最も大きな影響を及ぼしているのは目的関数だろう。両種どちらの場合も資源量指数(CPUE)の観測値と予測値との残差平方和を最小にするよう目的関数を設定している。資源尾数とCPUEとの関係については大西洋クロマグロでは直線を、ミナミマグロではべき関数を当てはめておりCPUEは資源尾数の3乗から4乗に比例している。CPUEと資源尾数との関係が実際にはどうなっているかについては論議のつきないところだろうが、延縄のような受動的漁具では理論的にはS字型と考えるのが妥当だろう。ミナミマグロで漸近線型ではない関係式が得られた理由として、漁業開発初期であっても漁具の飽和が起こるほどの資源尾数は存在していなかったという説明が成立つ。同時にCPUE自身が投入される努力量の密度によって変化する可能性もあり今後の検討が必要だろう。

大西洋クロマグロでは複数の資源量指数が利用できるため資源量指数に重みづけをしている。重みは各資源量指数を単独で用いて推定を行った時の目的関数の残差の平均平方を基に決めている。ところでF termに最終漁獲年のFを取っているためVPAの性質上、時間をさかのぼればさかのぼるほどF termでは残差の改良ができなくなってしまう。この結果時間系列の長い資源量指数ほど残差が大きくなる可能性が高く、昔からのデータがそろっている資源量指数ほど重みが小さくなるという矛盾に陥る。重みの決定は数学的取扱いにとられるよりもむしろ、各情報のもつ意味、信頼性や不確実性等を充分検討した上で資源量推定への影響力を規定していくべきだろう。

VPAによる資源量評価を資源量指数で調整していくというのは利用できる情報をすべて取込むという意味で非常に有意義である。しかしチューニングにとらわれすぎて、資源の利用率が不明でも資源量の推定ができるというVPA本来の利点まで損ってしまつては逆効果である。理論的・数学的な検討もちろん重要だが、常に原点へ戻つて利用する各情報の意味や性質を充分理解しておく必要があるだろう。

もう一点指摘しておきたいのは特にミナミマグロで重要視されている将来予測についてである。ある一定の条件を与えれば数学的に将来の資源状況が予測できるというのはVPAの大きな利点だが、これはあくまでも数字の上での解答であつて予測に含まれる不確実性はVPAで得られる推定値の中で最大であることを理解しておく必要がある。予測に必要な最近年の推定が最も信頼性が低いことは今さらいうまでもない。予測の基本となる親魚量と加入量との関係についてもほとんど何もわかっていない。将来予測は資源管理にとっては非常に便利な道具ではあるが、その不確実性や予測の限界を充分理解し過度に重要視するのは避けるべきだろう。

### 3. 資源管理と不確実性

ここまで現在大西洋クロマグロ、ミナミマグロで用いられているVPAについて各要因毎に特に問題となつてと思われる部分に焦点をあてながら簡単に検討してきた。全体を通してみると一言に不確実性といってもいろいろなタイプがあることに気づく。データ等の不確実性がそのまま推定値に反映され推定値の信頼性の幅が増大する場合もあれば、推定値に方向性のある偏りが生じる場合もある。推定値に偏りが生じた場合にも、常に同じ方向に偏りが生じるため絶対推定値が大きく変化しても推定値の相対的な変動は比較的保存されることもある。逆に絶対推定値にはそれほど大きな不確実性が導入されないにもかかわらず相対的な変動が現実のものとなつてしまう場合もありうる。

資源量推定の目的はあくまでも魚類資源を維持・管理するのに必要な情報を提供することである。資源量推定には常に不確実性がついてまわるにしても、資源管理の中でこうした不確実性がどういう意味をもちどんな場合に最も深刻な影響を及ぼすのかについて少し考えてみたい。

資源を管理するためには資源の現状を理解し必要に応じて何らかの資源保護方策をとらなければならない。保護方策としては禁漁区・禁漁期の設定、努力量の管理、使用漁具の制限など様々な方法があるが、国際管理体制がとられている場合には総漁獲量制限が基本的な管理手段となることが多い。しかし漁獲量制限が必要となる頃には漁業は充分以上に発達しており努力量も過剰になっていることが多い。当然、適正漁獲量の設定には生物学的観点だけではなく経済状況、政治的配慮など種々の要素を考慮に入れる必要がでてくる。ということは極論すれば資源研究者としては適正漁獲量の絶対値を示すことよりも、現在資源がどういう状態（良好か乱獲気味か）にあり漁業をどうすべきか（減少か維持か）の判断の方が重要だとはいえないだろうか。とすれば少しは話が簡単になる。多少推定精度を犠牲にしても資源の動向、相対的な変動を的確につかむことにより集中すればいいのである。

V P Aにかぎらずどんな資源量推定法にも不確実性は含まれている。情報量が足りないために生じる不確実性は技術の進歩や体制の整備等、外的条件が揃えば改良、解決される可能性が高い。しかし不確実性の原因となっている要素の中には情報収集のレベルを上げてまったく解決の見込のつかないものもあれば、もっと現実問題として情報収集レベルの改良が不可能な場合もある。こうした場合でも最低限シュミレーションによりV P A推定値への影響を検討しておくことが必要だろう。それぞれの不確実性の要因が資源管理においてどの程度悪影響を及ぼすかの判断が可能になるし、特に注意を要する要因の解決に集中することもできるはずである。ここでは不確実性の影響について非常に定性的な私見を述べてきたが、今後はまず第一段階として各不確実性の要因の与える影響を具体的かつ定量的に検討していかなければならないだろう。

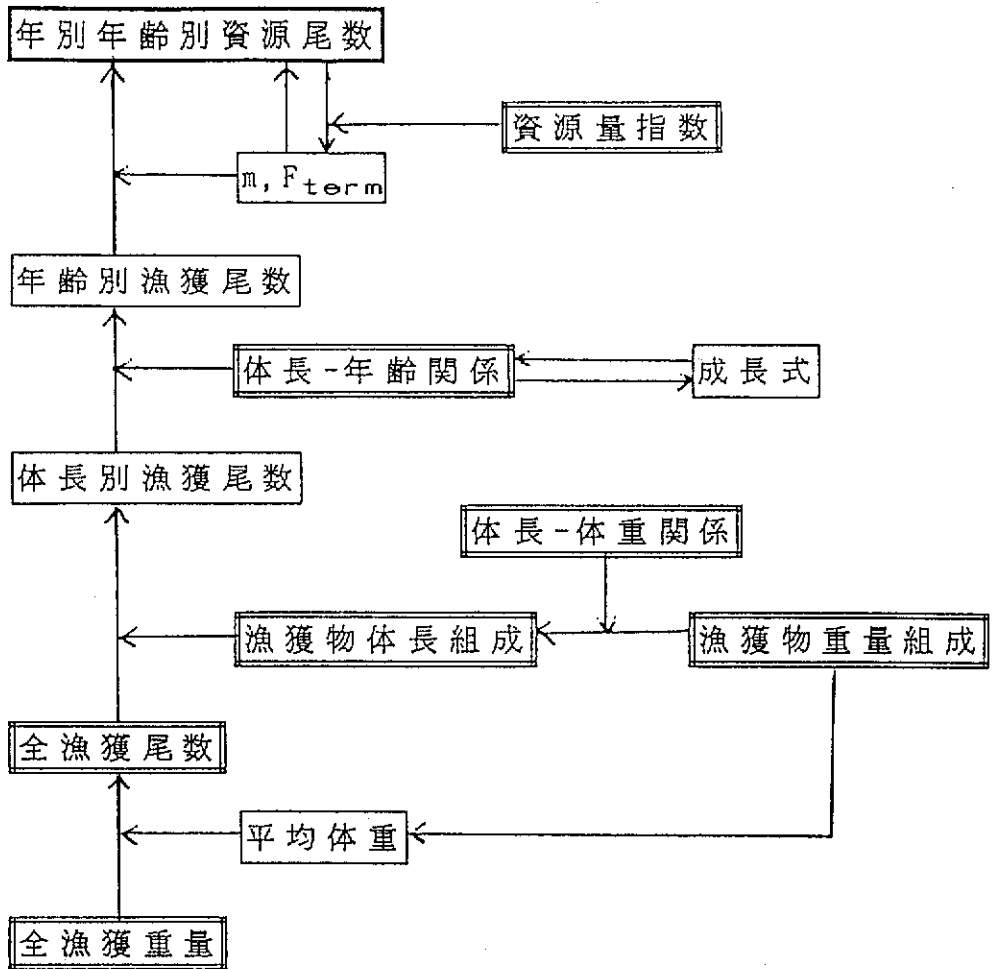


図1 VPAの基本的手順



Appendix 第9回ミナミマグロ三国者会議科学者会合最終レポートからVPAの不確実性に関する部分を抜粋。

### 3. Assessment of VPA methods

The meeting reiterated the main reasons underlying the use of VPA's as the chief mathematical modelling method for SBT, and discussed problems which still exist in the use of this method.

VPA's use all available fishery information. They provide estimates of current parental biomass levels in relation to past levels and, in combination with a stock-recruitment relationship, allow comparisons of the effects of future catches.

Although VPA's are generally simple in concept, those which have been developed for the SBT fishery are relatively complex. The VPA results vary depending on the assumptions made in their development.

Accumulated experience with the use of VPA's for the SBT fishery has highlighted several factors as contributing to the variability in estimates obtained. Several of these factors are not intrinsically problems of the VPA's but, in the case of the SBT fishery, their occurrence presents problems.

(a) Catches not fully accounted for:

This problem arises when catches are missing or inaccurately known e.g. those for Taiwan, Korea and Indonesia, or for which significant under-reporting is occurring. As a consequence, the total catch from the stock is not known, nor is its age composition.

In the short term, it is recommended that past catches by the vessels of other countries be sought for inclusion in the VPA's. In future, these data should be routinely included in the models. Under-reporting should be actively discouraged by all countries.

(b) Age composition of catch:

The age composition of the SBT catch is estimated by indirect methods, namely by:

- (i) length to age conversion methods when catch is sampled for length by time and area, or by;
- (ii) weight to length conversion, followed by length to age conversion when catch is only sampled for weight of fish.

SBT exhibit considerable variability in length-at-age and length-at-weight, thus leading to uncertainty in the allocation of fish to age classes and, hence, uncertainty in the estimated age composition of the catch. In addition, the age composition is only estimated from a sample of the catch so that sampling error also exists.

Additional uncertainty in the age composition arises because of choice of growth curve used in the conversions. To date, the length and weight to age conversion methods have used either the Kirkwood or Hampton growth curve. Both curves are based on tagging data collected from experiments between 1961 to 1977 and produce slightly different estimates of age composition. Results of the tagging study conducted in 1983-84 (SBFWS/90/8) produced growth rates for juvenile SBT which were higher than those of the Kirkwood and Hampton growth curves.

VPA estimates are sensitive to the estimated age composition of the catch and therefore any inaccuracy in the composition used in the models will contribute to the level of accuracy in results from them. The 1990 World Bluefin Meeting in La Jolla, California, concluded that: 'VPA and tuned VPA-like procedures are appropriate only if the ages of the fish in the catch can be estimated reliably'.

It is essential to get accurate age composition estimates for use in VPA's. At the least, a much greater percentage of longline fish must be measured for length so as to eliminate the need for weight-to-length conversion. Further analyses must be conducted to examine the effect of the alternative age curves and length-to-age conversion methods on the estimated age composition of the stock and hence on the results from VPA's. In particular, the effects of the CSIRO estimates of 1983/4 changes in juvenile fish growth must be tested in the VPA's.

(c) Relationship between CPUE and abundance:

The relationship between abundance of fish and CPUE is poorly understood. The Japanese, and some of the Australian, VPA's incorporated the use of a power function to describe the relationship. There was a wide range of values of the exponent of the power

model (from 2.3 to 3.9). The meeting could not provide a biological explanation for such large values but it agreed that some power greater than 1.0 is plausible.

Until a better understanding of the relationship between CPUE and fish abundance is obtained, it will not be possible quantitatively to interpret trends in CPUE-based fishery indicators.

Further analyses of the past catch and effort data are required to examine the effects of targeting and changes in area fished on CPUE. Estimates of the power model independent of the VPA's should also be attempted since, under the present method for estimation, the high estimates of the powers may reflect biases in the VPA's.

(d) Stock-recruitment relationship:

As with the majority of fish stocks, the form of the SBT stock-recruitment relationship is not known. Predictions based on several alternative forms of the Shepherd equation are similar in the area of most recent estimates of spawning stock and recruitment. It must be noted, however, that using any stock recruitment relationship for projections at present requires predictions outside the range of known values for parental biomass. If the parental biomass begins to recover, it will be back within the range for which there are data.

The meeting agreed that projections for management purposes made outside the range of available data were subject to a high degree of uncertainty. The development of a successful technique for direct monitoring of recruit abundance would help address some uncertainties in projections.

At the present historically low level of parental biomass, there is no experience of potential biological factors which could affect the production of recruits. These could include impaired spawning success at low stock levels, greater recruitment variation, and potential species replacement in larval and post-larval stages. Although unquantifiable, one or more such factors could contribute strongly to the risk of commercial collapse of the SBT stock.

(e) Time lag in estimation of recruitment:

At present, recruits are estimated from VPA's. A combination of the estimation method and the two year lag in the provision of Japanese catch data result in recruitment estimates being available only up to 1982 in the case of the Australian runs and 1984 in the case of the Japanese. We therefore have no estimates of more recent recruitment estimates at this critical period of low parental stock levels.

The meeting reiterated that a method for routine monitoring of recruit abundance was required urgently.

(f) Value of M:

VPA estimates are sensitive to the value of M. Several values have been used in VPA's for SBT and the range could be further refined. Uncertainty in the value of M is a problem common to assessments of most fish stocks.

The following table summarises uncertainties, consequences and suggested actions (S - short term, L - long term) for information required for VPA.

FACTOR	CONSEQUENCES	SUGGESTED ACTIONS
Catches not fully accounted for	- Don't know total catch - Additional uncertainty in population age distribution	S - VPA projections with catch ranges can show effects S - Obtain past catch information for other countries catching SBT L - Collect appropriate statistics L - Tighter enforcement
Inadequate sampling of lengths by time/area	Use of weight to length conversion produces uncertainty	S - Improve sampling coverage S - Collect length rather than weight S - Examine effects on VPA
No direct age estimation	Uncertain age composition of catch	L - Hard part ageing S - Examine effects on VPA
Growth rate - uncertain and apparent changes though time	Uncertain age composition of catch	S - Examine effects on VPA
Weight-length-age conversion	Uncertain age composition of catch	S - Collect length frequencies rather than weight frequencies L - Research improved methods S - Examine effects on VPA
CPUE - abundance relationship uncertain	Uncertainty in past biomass estimates	L - Research improved analyses (targeting, area changes, CPUE standardisation) S - Examine effects on VPA
Stock-recruitment relationship uncertain	- Little effect in area of most recent estimates - Projections uncertain	S - Caution in projections outside range of current data S - Examine effects on VPA L - Recruitment monitoring
Value of M - uncertainty and possible differences through time and/or by age	Serious effect on VPA results	S - Independent checks on consistency of recruitment estimates using various M values S - Examine VPA effects
Time lag in recruitment estimates	Uncertainty in current recruitment levels	L - Recruitment monitoring S - Examine effects on VPA