

# ビンナガ・メバチのように発育段階による生活様式の 分化のいちじるしい魚族の持続生産量の計算—I\*

持続生産についての基本的な議論と単純な  
漁業を想定した場合の計算モデル

須 田 明

(遠洋水産研究所)

Methods of dealing with sustainable yields for fish species with marked  
differentiations of living pattern on a course of life history-I.

Basic considerations on the conditions to realize a  
sustainable yield and applications of techniques  
to calculate amounts of sustainable yield from fish  
populations which are exploited in simple ways

Akira SUDA

(Far Seas Fisheries Research Laboratory)

## Synopsis

The Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and albacore (*Thunnus alalunga*) are fish species of long life span and consequently each stock comprises numerous age groups. At the same time, patterns of distribution are remarkably differentiated by age, sex and spawning activity. Maturation and recruitment to fishable stocks need enough time to be completed.

For such fish species, exploitations by fisheries may bring manifold biometric changes to a population when they take places in various parts of a stock. As a result, a reproductive potentiality of population, average age of catch and amount of sustainable yield will undergo complicated changes in many phases. To make a proper evaluation of effects caused by fisheries on such a fish population, mathematical descriptions with adequate contemplations on biological characteristics are necessary. Though complex models need huge mathematical works involved, recent developments in electronics enable us to drill them. In the present paper, the author tried

- 1) formation of models to handle fisheries dynamics of such a fish species, especially considering a condition to realize sustainable reproduction
- and
- 2) under some suppositions, practices of adoption of techniques developed here to some examples.

\* 1969年11月1日受理 遠洋水産研究所業績 第25号

### I: BASIC CONSIDERATIONS ON THE CONDITIONS TO REALIZE A SUSTAINABLE YIELD

Several mathematical models to evaluate a sustainable yield were already constructed in the past studies (BEVERTON 1954, BEVERTON & HOLT 1957, RICKER 1954, 1958, SCHAEFER 1957 etc.). However, one will find out that the necessary circumstances for applications of these measures are scarcely satisfied in the cases of bigeye and albacore.

For discussions on the problem, let's take Schaefer's model as a first example. As it was pointed out by the author himself (SCHAEFER 1957), followings are premised for the applications.

1) The rate of natural increase responds immediately to change in population density. That is, delayed effect of changes in population density on the rate of natural increase such as effects of the time lag between spawning and recruitment of resulting progeny into the catchable stock are ignored.

and

2) The rate of natural increase at a given weight of population is independent of the age composition of the population.

It is interesting to examine how practically the above mentioned conditions are satisfied in the Pacific bigeye and albacore.

1) It takes 4 years, on the average, before a newly generated breeding comes into a fishable stock. This time lapse is not small enough to be ignored and an immediate influence of changes in spawning population density on an amount of resultant progeny is not naturally imaginable.

and

2) Let's suppose a change in density of fish which breaks out in a part of population. In the fish species handled here, this kind of change may not be propagated over the whole population because of segregation of distribution by age or spawning activity. So the interaction among natural increasing factors to compensate a change in one of them, on the basis of whole population biomass, is hardly expected. Thus the effects of density variation in a special part of a population on the natural increasing rate seem to be more properly evaluated on the basis of each fragment of population. And, the age composition of a part of population in the question gives definite effects on the natural increasing rate.

Thus the two conditions to legitimate the adoption of this model does not seem to be well realized for the species and modification of the model may improve the situation.

Another aspect of this model is also to be noted. Even in circumstances that catch and effort statistics are only available for a study without any supplementary information, this model is still workable and one can lead to some conclusions about sustainable yield. This means at the same time that additional information such as age composition of catch, growth rate, rate of maturity, parent-offspring relationship and so on are not introduced in this model. In the future, observations on fishery resources will be more improved and one must find out how to make better use of such increased information with employing other models.

As a second example, the author tries to think over Ricker's model. Essentially, this model works as a measure of sustainable yield when an exploitation does not take time and any deaths need not be attributed to natural factors. In this case, a surplus recruitment is a sustainable

yield as it is.

Since bigeye and albacore are vulnerable to the fishery for several years as previously mentioned, this model does not practically work again for them. In this case, one part of total death should be distributed to natural death. Consequently, a sustainable yield is a surplus recruitment which is saved from natural death. In the other words, it is not a surplus recruitment itself but a weighted one by "ratio of fishing death to total death". So, it holds that parent stock size which reproduce the maximum surplus recruitment does not necessarily produce the maximum sustainable yield. Besides, even under the given average fishing mortality rate for entire exploited stage, there are various ways of allotment of fishing death among ages of exploitation. It means that various weights of catch are possibly expected from sustainable reproductions of same amount or from surplus recruitments of same strength.

As discussed above, for the handling of fisheries dynamics of bigeye and albacore, the matter of concern is how to develop a technique to find out the best combination of parent stock size and ways of exploitation. The changes in number of individuals as well as biological characteristics on a course of life span must be traced carefully, because they affect an average size of catch as well as an amount of next generation.

For the approach to fisheries dynamics, the basic relationships among dynamics of population, that of fishing effort and resultant yield shall be discussed. The formula(I) gives the principal relationship among the three factors above mentioned.

$$\Delta Y'_t = F_t R'_t \bar{W}_t \quad (I)$$

where,  $\Delta Y'$ ,  $F_t$ ,  $R'_t$  and  $\bar{W}_t$  denote an amount of instantaneous catch, an instantaneous fishing mortality rate, population size in number at time-t and an average weight of fish at time-t respectively.

Formula(I) expresses that an amount of catch is a resultant quantity of two different independent motions. One of which is an activity of humankind to utilize a fisheries resources. It is characterized by an intensity of fishing effort and selectivity of fishing gear by which age at exploitation is defined. The other is a dynamics of fish population through which  $R'_t$  is as it is.  $\bar{W}_t$  may be interpreted as a converting factor of resultant quantity of two motions, ( $F_t \times R'_t$ ), to a utility for humankind.

Formula(I) is integrated and rewritten as formula (II).

$$Y' = R' \times \frac{Y'}{R'} \quad (II)$$

$Y'$  denote an amount of yield in terms of weight during one fishing season.  $R'$  is an amount of recruitment at the beginning of fishing season.  $Y'/R'$  expresses an expectable value from unit recruitment characterized by activities of humankind to utilize a fish resource.

To make the best utilization of fisheries resources, one must find out the best combination of an amount of recruitment ( $R'$ ) and an expectable value from a unit recruitment ( $Y' \times R'$ ). Both elements may be regulated through adjustment of intensity of fishing and its selectivity.

For a practical purposes of formula (II), it may be understood how  $R'$  and  $Y'/R'$  are brought on. Especially as to  $R'$ , conditions in which recruitment is regenerated sustainably must examined because the final purpose of present study is to handle sustainable yield.

In the present study, course of life cycle is divided into two categories: the one is inter-generative process and the other is intra-generative one. The two processes take places alternatively. In the inter-generative process, namely, in the reproductive process, number of individuals are raised by spawning. On the other hand, in the intra-generative process, number of individuals decrease on the course of time. The survivors in the intra-generative process produce eggs which reproduce next generation. These two processes of life cycle are related each other to determine the amount of recruitment of either side. As a practical treatment, the author includes the earlier part of life span of a year class on which fishery does not take place and very little informations are available by lacking of fishery in reproductive process.

Necessary conditions to maintain a population size on a given level over succeeding generations shall be reserached employing the formula(III).

$$E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1} \quad (\text{III})$$

where,  $E_i$  : a number of adult fish of a foregoing generation (number of eggs produced by a parent generation)

$E_{i+1}$ : a number of adult fish of a present generation

$R_{i+1}$ : an initial number of fish of a present generation

Left hand terms of the formula construct a necessary number of adult fish to produce a unit recruitment and right hand ones give a number of adult fish expected from a unit recruitment.  $E_i/R_{i+1}$  is interpreted as a reciprocal of reproduction rate in an inter-generative process and  $E_{i+1}/R_{i+1}$  is as a spawning rate in an intragenerative process. When  $E_i/R_{i+1}$  is equal to  $E_{i+1}/R_{i+1}$ , as a matter of course,  $E_i$  is equal to  $E_{i+1}$  and consequently sustainable reproduction of fish population is feasible.

Observations on the relationship between parent and offspring stock sizes give an empirical formula on  $E_i/R_{i+1}$ . Studies by RICKER (1958) and BEVERTON & HOLT (1957) are instructive as to the problem.  $E_{i+1}/R_{i+1}$  is usually conceived as an exponential function of mortality in an intra-generative process. Empirical informations are rather few in this field, though YOSHIWARA (1962) made some observations on the matter. When the concrete relations are adopted to the terms of both sides of formula(III), one can derive the definite condition to realize a sustainable reproduction. The settlement of conditions for sustainable reproduction makes a calculation of amount of sustainable recruitment,  $R'$  in formula(II), possible. Another factor,  $Y'/R'$  in formula(II), is so called an amount of yield per recruitment. BEVERTON & HOLT (1957) treated this value giving much considerations on age dependant changes in number of survivors and an average weight of fish. This value is interpreted as a measure of utility of a unit recruitment to humankind. The incarnation of  $E_i/R_{i+1}$ ,  $E_{i+1}/R_{i+1}$  and  $Y_{i+1}/R_{i+1}$  constructs the basic parts of the calculation of amount of sustainable yield.

To complete the calculation of sustainable yield, following steps must be taken:

- 1) Settlement of condition making  $E_i/R_{i+1}$  and  $E_{i+1}/R_{i+1}$  equal (Chapter III)
  - 2) Calculation of expected  $R_{i+1}$  when  $E_i/R_{i+1}$  is equal to  $E_{i+1}/R_{i+1}$  (Chapter III)
  - 3) Calculation of  $Y_{i+1}/R_{i+1}$  when  $E_i/R_{i+1}$  is equal to  $E_{i+1}/R_{i+1}$  (Chapter IV)
- and
- 4) Calculation of susuainable yield  $Y_i$  under various values of factors which cause the changes

in the conditions of sustainable reproduction (Chapter V).

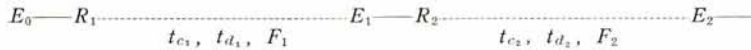
## II: TERMINOLOGY

- $R$  : Initial number of fish of one generation (more exactly, number of fish at a beginning of intra-generative process of one generation)  
 $R'$  : Number of fish at a beginning of fishing season  
 $Y$  : Total catch in weight from one generation throughout its full course of life  
 $Y'$  : Total catch in weight during one fishing season  
 $C, C', C'', \dots$  : Catch in number from one generation  
 $E$  : Number of parent fish (Number of eggs spawned)  
 $t$  : Time or age  
 $t_c$  : Age of first capture  
 $t_d$  : Age of dispersion  
 $i$  : Designation for generation  
 $N_t$  : Number of fish at time  $t$

In and after Chapter III,  $R_{i+1}$ ,  $F_{i+1}$ ,  $t_{c_{i+1}}$ ,  $t_{d_{i+1}}$  and  $Y_{i+1}$  are simply designated for  $R$ ,  $F$ ,  $t_c$ ,  $t_d$  and  $Y$  respectively. Population size of foregoing generation is designated for  $E_0$ .

## III: EXAMINATIONS OF CONDITIONS TO REALIZE A SUSTAINABLE REPRODUCTION

Changes in number of fish over succeeding generations are expressed as follows;



where full and dotted lines denote inter- and intra-generative processes respectively. When  $E_0/R$  is equal to  $E/R$  on the above mentioned course,  $E_0$  is necessarily equal to  $E$  supposing density dependant relationship between parent and offspring stock sizes.  $E_0/R$  is decided in the inter-generative process where fishery does not take place and the humankind can't affect it. This relationship becomes to be known through observations on parent and offspring stock sizes.  $E/R$  varies due to conditions of exploitation, especially  $t_c$  and  $t_d$ , a selectivity of fishing gear, and  $F$ , an amount of fishing effort.

### III-1. ( $E_0-R$ ) relationship

( $E_0-R$ ) relationship, reproduction equation, observed in the North Pacific albacore and the Pacific bigeye are shown in Table 1. Various types of reproduction curves are supposed. Ricker's one appears most successful among them. To lead the condition which makes  $E_0/R$  and  $E/R$  equal, ( $E_0-R$ ) relationship is more conveniently expressed in ( $E_0/R-E_0$ ) form. Employing the formulas in the table, one can derive the concrete ( $E_0/R-E_0$ ) relationships. For instance, Ricker's reproduction equations are rewritten in the following formulas:

$$E_0/R = 0.0923e^{0.943E_0} \quad \dots\dots \text{albacore}$$

$$E_0/R = 0.0223e^{0.0136E_0} \quad \dots\dots \text{bigeye}$$

The curves for above mentioned formulas are illustrated in Fig. 2-1 and -2. A linear relationship is expectable between  $E_0/R$  and  $E_0$  under constant recruitment ( $E_0/R=E_0/C$ ) and the resultant

line of this relationship is also shown in each figure.

### III-2. ( $R-E$ ) relationship

$E$  is evaluated as a sum of number of eggs produced throughout a life span of one year class. The procedure of calculation employed for bigeye is in formula (V),

$$E = R \int_0^{t_c} e^{-Mt} \cdot A_t \cdot B_t dt + R e^{-Mt_c} \int_{t_c}^{t_d} e^{-Z(t-t_c)} \cdot A_t \cdot B_t dt \quad (V)$$

where  $A_t$  is degree of group maturity at age  $t$  (proportion of mature fish at age  $t$ ) and  $B_t$  is average number of eggs produced by one fish at age  $t$ . Detailed expressions of  $A_t$  and  $B_t$  are formulas (VI) and (VII), both of which are induced from the data presented by KIKAWA (1966). When sufficient informations are not available,  $A_t \times B_t$  may be substituted by a magnitude of biomass or simply by a number of adult fish. Formulas (IV) and (IV') which lead  $E$ -value for albacore represent such cases.

### III-3. Conditions to make $E_0/R$ and $E/R$ equal

When  $E_0/R$  and  $E/R$  formulas are concretely elucidated, the conditions to realize sustainable recruitment are indicated as a combination of concurrent values of independent variables affecting  $E_0/R$  and  $E/R$ , that is  $E_0$ ,  $F$ ,  $t_c$ ,  $t_d$  and so on, employing procedures illustrated in Fig. 5. In the figure,  $E_0/R$  and  $E/R$  values in the same scale of ordinate are plotted against  $E_0$  and  $F$  respectively. Supposing fishing intensity  $F$  on a certain level, one can find out a parent stock size which realizes sustainable reproduction under a supposed fishing intensity by following the dotted lines in a direction of an arrow. Conversely, assuming a parent stock size at  $E_0$ , by tracing the dotted lines in an opposite direction, one can find out  $F$  to materialize a sustainable recruitment. More simply, one can find out the conditions of sustainable reproduction employing a method illustrated in Fig. 10 in which amounts of sustainable recruitment can be evaluated directly. Cotangents of dotted lines passing through the original point of the graph represent the expected  $E/R$ -values under supposed  $F$ -values which are inscribed along the lines. Also, formulas (VIII-1), (VIII-2) and (VIII-3) are the mathematical methods to lead the combination of ( $E_0$  &  $F$ ), ( $E_0$ ,  $F$  and  $F'$ ) and ( $E_0$ ,  $F$ ,  $t_c$  and  $t_d$ ) respectively to actualize a sustainable reproduction for albacore and bigeye.

## IV: PROCEDURES TO CALCULATE AMOUNTS OF SUSTAINABLE YIELD

Once combinations of  $E_0$ ,  $F$ ,  $F'$ ,  $t_c$ ,  $t_d$  and so on are fixed, amounts of sustainable recruitment  $R$  are evaluated through the reproduction equation. Also,  $Y/R$  is easily calculated employing formulas (IX), (IX') and (IX''). Amounts of sustainable yield are given as the products of  $Y/R$  multiplied by  $R$  as is illustrated in formula (II).

In Tables -5 and -6, examples of arrangement to calculate sustainable yield are illustrated. The resultant sustainable yield curves for the albacore and bigeye are in Fig. 9. Both curves are asymmetric in the respective way reflecting biological features of both species about which references are made in the next chapter.

In Fig. 8, the steps of calculation of amount of sustainable yield are diagrammatically illustrated.  $E_0/R$  and  $E/R$  curves are in Panel-A and -B respectively. Procedures in both

panels are to detect a condition of sustainable reproduction. In Panel-C where  $Y/R$  curves are placed, employing  $F$ -value decided in Panel-B, amount of  $Y/R$  to realize a sustainable yield is calculated. Amount of sustainable recruitment is measured adopting reproductive curve in Panel-D against  $E_0$  obtained in Panel-A.  $Y/R$  and  $R$  values are appraised on respective ordinates. Products of both values turn out amounts of sustainable yield.

#### V: EXAMPLES OF APPLICATION OF THE METHOD

(1) Changes in the amount of sustainable yield caused by a shift of age of first capture are examined taking the Pacific bigeye as an example. Supposing an age of entry be 0, 2, 3, 4 and 6,  $E/R$  and  $Y/R$  are calculated one by one against various values of  $F$  adopting formulas (V) and (IX'). The results are shown in Table-7. The  $E/R$  value as a result of foregoing step is substituted for  $E_0/R$  in the formula,  $E_0/R=0.0223e^{0.0136K_0}$ , to lead  $E_0$  values which make  $E/R$  equal to  $E_0/R$ . Now, it is possible to calculate an amount of sustainable recruitment  $R$  by deviding  $E_0$  by  $E_0/R$ .  $Y/R$  multiplied by  $R$  makes sustainable yield  $Y$ . Amounts of sustainable yield are shown in Table-7 as well as in Fig. 11 by age of first capture. Sustainable yield curves are more or less asymmetric attaining at the maximum values in left side half of  $F$  range. Earlier entry causes small amounts of MSY, which stand against smaller magnitude of  $F$ .

In the same way, adopting equation (IV'), (IV'') and the formula,  $E_0/R=0.0923e^{0.943K_0}$ , amounts of sustainable yield are calculated for the North Pacific albacore. The results are given in Table-8 and in Fig. 12. Similar relationships as those observed in bigeye are pointed out among amount of sustainable yield,  $t_c$  and  $F$ . But, in this case, yield curves are distorted in the opposite way of those of bigeye and the peaks of curves occur in their right side half of  $F$  range.

(2) Usually, amounts of sustainable yield are calculated supposing immediate recruitments. However, recruitments of these species are actually completed taking enough time. In the case of bigeye, 8% of breeding enters fishery at II age, 21% at III age, 30% at IV age and 32% at V age respectively. Thus, it is a matter of concern to examine the difference of calculated amount of sustainable yield between suppositions of immediate and sequential recruitments. Employing formulas (XIII) and (XIV), amounts of sustainable yield of bigeye are calculated assuming a sequential recruitment, and a resultant yield curve is shown in Fig. 13. For the comparison, a sustainable yield curve under an immediate recruitment at IV years old is illustrated simultaneously in the figure. The difference between two curves is rather small over a range of  $F$  value less than 1.0, in which actual fishing intensity takes place. Thus, for a practical use, the both curves seem to lead almost the same conclusion.

(3) Relationships between  $CPUE$  and  $F$  are also examined.  $CPUE$  for various values of  $F$  are shown in Table-10 and Fig. 14 for both of albacore and bigeye. The both curves of  $CPUE$  change as the fishing intensity increase in the markedly different way. The bigeye population ( $CPUE$  represents the population size) decreases rather rapidly even under light pressures of fishery. But, after decreased down to some lower level, it persists in moderate reproductive potentialities inspite of rather intensive fishing mortalities. On the contrary, albacore population is kept on high levels when fishing are not intensive but falls down rapidly with an increase in fishing mortality. Such differences between two species are likely related to those of biological

features of both species. In the case of bigeye, some individuals younger than 4 years old take part in spawning even before their coming into fishable stock and it seems to be the reason of rather persistent potentialities of reproduction under intensive fishing mortalities of this species. On the other hand, the virgin stock of this species is a cumulative of many advanced age groups, which can be depressed effectively even by slight initial fishing intensities. In the catchable stock of albacore, in average, less age groups (mainly IV and V age groups) are prominent, almost all of which are vulnerable to the fisheries before spawning. Such biological features of albacore possibly result in reverse relationships between *CPUE* and *F* to those observed in bigeye.

#### VI: DISCUSSIONS ON FUTURE DEVELOPMENT OF PRACTICAL APPLICATIONS OF THE METHOD

It is instructive to examine if the calculated yield curve gives a reasonable comparison with the actual observations. The catch and effort statistics of the Pacific bigeye from 1952 through 1967 are available (Table-11). Supposing catch-ability of  $10^8$  hooks to be 0.361 (SUDA and KUME 1967), annual fishing mortality coefficients (*F*) are evaluated. Then, annual catches plotted against *F*-values are compared with calculated sustainable yield curve under the assumption of immediate recruitment at IV-age in Fig. 16. Supposing that actual catches be mathematically larger than those in steady conditions when fishery is expanding, the present comparison is not necessarily a reasonable one. The observed annual catches in the earlier years appear below the calculated yield curve. It is not well known why the comparison rather disappoints the mathematical expectation. Probably the reason would be a pile of observational errors in the various parameters employed in the calculation.

In the present report, methods are not well developed to cover such cases that more than two different fisheries exist concurrently in the intra-generative process. An approach to the problem will be taken in the future study.

#### 目 次

緒 言	
第 I 章：持続生産に関する基本的な考え方	123
第 II 章：用語並びに記号についての補足説明	127
第 III 章：魚群の持続的な加入を実現する条件	128
III-1：世代間過程での生き残り	128
III-2：世代内での生き残り（ある世代のもつ再生産潜力）	131
III-3：世代間の生き残り率の逆数と世代内での生き残り率とを等しくする条件	133
第 IV 章：持続生産量の計算	134
IV-1：算出の手順	134
IV-2：図による解の求め方	137
第 V 章：適用例	138
V-1：漁獲開始年令の変化にともなう持続生産量曲線の変化	138
V-2：瞬間加入のかわりに連続加入を考えた場合の持続生産量曲線	140
V-3：持続生産が実現した場合の単位努力当り漁獲量と漁獲死亡係数の関係	143
第 VI 章：今後の問題点	143
文 献	145



## 緒 言

ビンナガやメバチは、寿命が長いばかりでなく、年令や成熟度の変化に応じて生活様式が高度に分化した魚族である。このような魚族では、生活史の各段階でおきる生活様式の諸変化と漁業生産との間には、かなりこみいったつながりが予想される。したがって、その開発や管理にあたっては、複雑な背景からくる諸種の効果をより正当に見積るための工夫が必要である。しかしながら、ビンナガとメバチについてはこれまでの研究段階でこの問題が体系的に考察されたことはない。せいぜい、(1)資源の増加力を(i)次の世代の再生産と、(ii)個体の成長と生き残りによる加入群の重量変化の二つの過程に分けて考え、(2)それぞれの過程に適した管理手段を個別的に見出し、(3)次にこれら二つの管理手段が共存し得る条件……これは持続的な加入や漁獲を可能にする条件のことであるが……を見出そうという考え方(須田 1966-C)が提出されたにとどまっている。

本研究は、この問題について更に考え方の整理をすすめると共に、更に必要な仮定を交えつゝ実際の計算をも試みたものである。

本研究にあたって、前遠洋水産研究所上村忠夫浮魚資源部長(現日本海区水産研究所開発部長)からは種々御指導と御助言を、林繁一浮魚資源部第一研究室長には絶えず討論をお願いした。更に、矢部博前遠洋水産研究所長、福田嘉男同企画連絡室長、山中一郎同海洋部長にも御懇切な原稿の校閲をいただいている。記して深謝の意を表する。

### 第1章：持続生産に関する基本的な考え方

持続生産量をもとめるために、すでに幾つかの数学的な理論やモデルが提出されている。しかし、一般にこれらのモデルを用いてビンナガ、メバチのように年令による生活様式の分化がいちじるしく、そのうえ、長期にわたって漁業にさらされる魚族の平衡漁獲量を扱おうとすると、実情の充たされない点が指摘され不満を感じることが多い。

たとえば SCHAEFER (1957) のモデルをとりあげてみる。このモデルでは加入や個体の増重、生き残りは一括して資源の自然増加力として扱われ、個々の要因のもつ機能的な特長は捨象されている。自然増加力は資源の総重量で決定される。そして漁場に存在する資源の総重量から期待される自然増加量そのものが平衡漁獲量になる。このモデルが効果的に適用されるのは SCHAEFER 自身がのべているように、以下の2つの条件がある程度満足される場合である。

- 1) 条件一：資源の密度変化が自然増加率に直ちに反映されること。たとえば、産卵と加入の間の時間のずれが無視できる程小さいこと。
- 2) 条件二：自然増加率は資源の総重量のみに依存し、年令組成とは無関係であること。

メバチはその生涯を通じ、成長や成熟とともにいちじるしく棲息水域を変えるもので、低緯度から高緯度にわたる広汎な海域に拡散して分布する。若年魚は成熟がすすむとともにそれまで棲息域であった高緯度海域をはなれ、漸次低緯度海域に集って産卵するようになる。しかも高令のものほど低緯度海域でもその東寄りの部分に集合する傾向が強い(KUME 1967)。漁業への加入が終了するのはかなりおそく約4才で、且つ、加入後数年にわたって連続的に漁業の対象となる(KUME 1967, 須田・久米 1967)。本種では SCHAEFER の指摘した2条件がどの程度みたされているであろうか。

- i) 条件一：本種の場合、産卵から加入までの時間的なずれは約4才年で無視できない程大きい。ある大きさの資源の総重量から期待される自然増加量のうち、加入による分はそのまゝその時点での漁獲量とはならない。努力量が長期間一定のレベルに据えおかれてきた場合は別として、加入の効果が変わるのは4年後のことである。
- ii) 条件二：自然増加力を支えるものは、加入、個体の増量及び生き残りの3要素である。ところで、仮に資源量は一定でも年令組成が異なれば、これに応じて3要素の自然増加に対する寄与の程度も

一般には変化し、ひいては自然増加の総量も変化することはあり得ることである。しかし、このモデルのもとでは自然増加の内容にこのような変化がおきても、資源の総重量が一定である限り、これら3要素は互に補償しあうように変化し、自然増加の総量はもとのレベルに保たれることになる。しかし、このような3要素間の補償効果が充分期待できないような条件があるとしたら、特有の年令組成には特有の再生産が対応し、魚群体のもつ自然増力とその資源重量との間に1:1の対応が期待できなくなる。本種では魚群が生残率、増加率、産卵能力を異にする多くの年令群からなり、加えて、その年令群の地理的分布に特異性が強く、むしろ互に分離するような形で分布するのであるから、ある年令群(又はある特定の海域)におきた密度変化が短期間のうちに魚群全体に波及し、3要素間で充分な補償が行なわれるとは考えがたい。現実には密度変化のおきる場所によって特有の年令組成を生じ、これを反映して自然増力も独特の内容と大きさをもったものとなろう。

結論として、その生物学的な特性からみてメバチにSCHAEFERのモデルを適用するにはかなりの無理があるように思われる。これは同様な生物学的な特性をもつビンナガ(須田1962)についても言えることである。

もうひとつ、RICKER(1954, 1958)のモデルについても考えてみよう。まず、 $E_0$ を前世代の親魚数、 $E$ を $E_0$ から再生産された世代の親魚数とおく。 $E_0$ と $E$ は必ずしも親魚数に限る必要はなく、産出卵数と考えてもよいが、議論を簡単にするためにここでは親魚数と考える。このモデルでは平衡漁獲量 $C$ は $C = E - E_0$ として評価される。これは自然死亡係数が0か、或いは漁獲がきわめて短期間に行なわれるために自然死亡を無視してもよい( $E$ と $E_0$ の差額を自然死亡へわりふる必要がない)ような背景をもった魚族を対象としたモデルと考えられる。長期間にわたって漁獲が行なわれ自然死亡の効果が無視できない場合には、 $E_0$ から再生産された魚群の加入時における尾数を $R$ として、 $C' = \frac{F}{Z}(R - E_0)$ の形で平衡漁獲尾数を測る必要がでてくる。この場合、さきにのべた $C$ を最大にする親世代の数 $E_0$ と $C'$ を最大にするそれとは一般に異なることに注意すべきである。メバチの場合、年令を異にする複数の魚群が異なった漁場で漁獲されるから、実際の漁業の管理を考えて更に複雑な形 $C'' = \frac{F_1}{Z_1}(R - R_1) + \frac{F_2}{Z_2}(R_1 - R_2) + \dots + \frac{F_n}{Z_n}(R_{n-1} - E_0)$ を用いた平衡漁獲尾数の計算がより合理的であると思われる。ここで、 $(F_1, F_2, \dots, F_n)$ ,  $(R_1, R_2, \dots, R_n)$ は夫々年令(漁場)1, 2,  $\dots, n$ における漁獲強度と初期尾数である。ここでは漁獲量は尾数の単位で評価されているので、 $F_1, F_2, \dots, F_n$ に与える値如何によっては同じ $C''$ に対してもいちじるしく異なった漁獲重量を考え得ることを指摘しておきたい。

以上の議論から指摘されるのは、生活史が長く、且つ、その各段階で生活様式がいちじるしく異なるような魚族の漁獲量の変化を扱うには、時間を捨象することは適当でなく、具体的な時間の経過にともなう諸変化をできるだけ忠実に記載できるようなモデルが要請されるということである。この場合、魚群体は重量群としてではなく、種々な生物学的な特長を具えた個体群の集合としてとらえた方が、その変化の内容を質的に記載しやすしい。

もうひとつ整理しておきたいのは資源量の変動と漁獲量の変動の関係である。いうまでもなく、両者は別物であり、漁獲量の変動は資源量の変動法則だけでは説明できる筈のものではない。ここで「漁獲量」の構造を以下の如く考える。ある瞬間 $t$ における漁獲量を $\Delta Y'_t$ とすると、

$$\Delta Y'_t = F_t N_t \bar{W}_t \dots\dots\dots [1]$$

$F_t$ は漁獲死亡係数、 $N_t$ は資源尾数、 $\bar{W}_t$ は平均体重

漁獲量は、 $F_t$ と $\bar{W}_t$ とでそれぞれ代表される“人類の魚類資源利用活動(漁獲努力のもつ選択性とその量)”と“ $N_t$ の決定にあずかる資源尾数の変動”という2ヶの別個の法則の働き合いの結果として生ずるものである。[1]式で $F_t$ を主体の活動をあらわす量とみるならば、 $N_t$ は主体の活動対象に関する量とみることが出来る。漁獲量は $F_t N_t$ であるが、この単位は尾数であって重量でも価格でもない。せめてこれを重量単位に交換しておく人類に対する漁業の有用性を測るのに好都合である。 $\bar{W}_t$ はこのように $F_t$ と $N_t$ の働き合いの結果を人類に有用な単位におき換えるための係数とみてよい。

〔1〕式に含まれる“人類の魚類資源利用活動”と“資源尾数の変動法則”を著者は以下のような考え方に  
そって扱いたい。

- (i) 人類の魚類資源利用活動：漁業による“まびき”の効果は、使用される漁具の数によって量的( $F_t$ )  
に、また、漁業の行なわれる時期や海域と漁具の選択性によって質的にも特長づけられる。その  
“強さ”と“型”は生残率だけでなく漁獲開始年令や終了年令——魚の側から云えば、加入年令と  
逸散年令——ひいては漁獲物の平均重量をも決定づける。したがって、人為的に魚群の生残率と加  
入・逸散年令を種々変化させて、与えられた加入群を全く別の幾通りもの過程で減少させ、しか  
も、最終的には同数の親魚を生き残らせることも可能である。ということは同数の加入魚から最終  
的に同数の親魚が生き残る場合でも漁獲量は一定でなく、いろいろの大きさのものが期待できると  
いうことである。個体群にとっては同じ結果を生む変化過程もそれを利用する人類にとっては別の  
意味をもつものである。そしてこの意味づけを行なうものが、まびきの“型”と“強さ”であり、  
これが変化すると“単位資源の人類にとっての有用性”も種々変化することになる。

このような“単位資源の有用性”を決定する働きとは別に、努力の総量そのものの変動法則も漁  
業管理にとっては重要な人類の資源利用活動の側面である。まびきによって魚群密度が低下すれば  
(換言すれば、単位努力当り漁獲量が減少すれば)、その魚群に対する経済的興味は当然低下する  
し、努力量の投下も減少することになる。単位努力当り漁獲量は努力量の変動を規制する要因のひ  
とつである。しかしながら、経済活動はきわめて複雑な内容をもち、到底単位努力当り漁獲量だけ  
できまるものではないと思われる。こういう意味で、この研究シリーズでは努力の投下量が決定さ  
れる過程は考えないこととし、努力量の大きさ自体は単に“与えられた量”として扱う。

- (ii) 資源尾数の変動法則：生活史を通じてみれば魚群体を構成する個体数の変化は質的に異なった複数  
の過程からなると考える。こういう観点から魚類の生活様式はいろいろに類型化できるが、こゝで  
は以下の3つの基本型を考える。これらの3基本型は、それぞれ、その世代内過程に特長がある。

生活形——(1)



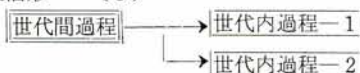
世代内過程での生物学的な諸特性は全体を通じて変らないと考える。

生活形——(2)



世代内過程での発育段階が異なれば、生物学的な特性が異なったり、異種の漁業によって開拓さ  
れる場合をさす。

生活形——(3)



同一の発育段階にある魚群でも、分布海域が異なれば、自然死亡率が異なったり、特有の漁業に  
さらされる場合である。

生活形——(2)と(3)の組合わせも考え得ることであり、しかもそれがもっとも一般的なケー  
スであろう。研究のはじめとして、又、生活形——(2)や(3)を取り扱い得るだけの情報を  
充分もちあわせないことを考慮して、本報ではこれらの諸形のうち生活形——(1)を中心にした  
とりあげを行なっている。したがって、こゝでは生活史にはただ2ヶの過程、即ち、世代内の生き  
残り過程と、世代間の再生産過程だけがあり、この過程が交代してあらわれると考えることが多  
い。世代間過程には産卵という個体数の増加過程が含まれ、世代内過程は個体の減少過程として理  
解される。当然のことではあるけれども、世代間過程での生き残り数が世代内過程への加入であ  
り、その世代内過程で産出された卵からの生き残り数が次の世代間過程への加入量で、これが一般  
にいわれる次の世代の再生産である。したがって世代間過程と世代内過程は互に初期数を決定し合  
うという形で関連し合っている。又、実際問題としては著者は、漁業がなくて情報の乏しい生活史

の初期の時代は世代間過程の一部に含めるのがよいと考えている。更に、すくなくとも再生産過程においては個体群は自動制御系であり、自動制御の原因は密度に依存する平衡作用であると考えられる。勿論、密度以外の要因が個体数の変動をひきおこすこともあるが、このような場合これを偶然変動とみなす。

漁獲量の評価を扱った数学的なモデルのうち、計算の過程でかなりこまかい age-specific な配慮を行っているのは BEVERTON & HOLT (1957) のモデルである。ところが、このモデルはその複合モデルといわれる部分を除いて、本質的には単位加入量当りの漁獲量についてのモデルであり、加入量を変動させる資源尾数の変動法則は漁獲量の変動には反映されていない。ここで配慮されているのは世代内過程における個体数の変化だけである。むしろこれは、“人類の魚類利用活動”の項でふれた「単位魚群の有用度」に関するモデルの一つと考えた方がよいと思われる。

以上の考え方は漁期初めの資源尾数を  $R'$  とおき、[I] 式を積分して、ある期間の漁獲量 ( $Y'$ ) を [II] 式の形に分解して示せばよく理解される。

$$Y' = R' \times \frac{Y'}{R'} \dots\dots\dots \text{[II]}$$

$R'$  は資源尾数を変動させる法則に、 $Y'/R'$  は人類の資源利用活動のうち単位資源の有用度を決定する機能に対応する項目である。[II] 式に示された関係は「魚類資源の利用には①加入群をその一生を通じて有効に利用する面と、②加入群をできるだけ多くするという2つの面がある」ということに相通ずることであり、すでに多くの研究者 (RICKER 1954, WATT 1956, 田中 1963) によって指摘されたことがらでもである。

こゝで具体的に [II] 式を活用するには2つの量  $R'$  と  $Y'/R'$  の変動法則を具体的に理解しなければならない。しかも、著者の扱いたいのは単なる漁獲量ではなく平衡漁獲量 (持続生産量) であるから、 $R'$  については、まず、それが持続的に再生産される条件を見出す必要がある。この条件は著者 (1966-C) が述べた異なった過程における資源の増加力を個別に管理する手段を共存させる条件である。ある世代の大きさが持続的に次の世代にうけつがれる条件は [III] 式で与えられる。

$$E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1} \dots\dots\dots \text{[III]}$$

$E_i$ : 親世代の親魚数 (又は産出卵数)

$E_{i+1}$ : 当該世代の親魚数 (又は産出卵数)

$R_{i+1}$ : 当該世代の初期数 (厳密には世代間過程の最終値、或いは当該世代内過程の初期値)

[III] 式の左辺は世代間過程 (再生産過程) において単位加入を得るに必要な親魚数 (又は産出卵数) であり、右辺は世代内過程において単位加入から期待し得る親魚数 (又は産出卵数) である。 $E_i/R_{i+1}$  は世代間の生き残り関係を、 $E_{i+1}/R_{i+1}$  は世代内の生き残りを与えると考えてもよい。 $E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1}$  であれば当然  $E_i = E_{i+1}$  であり、持続再生産が実現することになる。何らかの方法で世代間、世代内の生き残り法則とそのパラメーターがつかめれば、持続的な加入を実現させる条件も具体的に求め得る筈である。

[II] 式の左辺は単位漁期内に期待される漁獲量であるが、持続的な加入が維持されている場合には、この量は1つの加入群の一生を通じて期待し得る漁獲量  $Y/R$  に一致する。したがって、 $E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1}$  の条件のもとで期待される加入量  $R_{i+1}$  と、単位加入量当り漁獲量  $Y_{i+1}/R_{i+1}$  とを計算すれば、単位期間当り持続漁獲量  $Y'$  は、

$$Y' = Y_{i+1} = R_{i+1} \times \frac{Y_{i+1}}{R_{i+1}} \dots\dots\dots \text{[II]}$$

として計算できる。したがって、 $E_i/R_{i+1}$ 、 $E_{i+1}/R_{i+1}$ 、 $Y_{i+1}/R_{i+1}$  に関する知識があればこれらを組み合わせることで持続生産量が計算できることになる。ところで、これらの諸関係については、直接、間接に過去の研究結果が利用できる。 $Y_{i+1}/R_{i+1}$  については BARANOV (吉原 1952)、TOMPSON & BELL (1934)、RICKER (1958) の諸モデル、更には BEVERTON & HOLT (BEVERTON 1954, BEVERTON & HOLT 1957) のモデルが直接利用できる。 $E_{i+1}/R_{i+1}$  についても RICKER (1954, 1958) や BEVERTON & HOLT (1957) の再生産曲線からいろいろな示唆が得られるし、 $E_{i+1}/R_{i+1}$  についても、たとえば吉原 (1962) の研究があ

る。結局、こゝで残されていることは(1)  $E_i/R_{i+1}$  と  $E_{i+1}/R_{i+1}$  を等しくする条件を具体的にビンナガとメバチについて求めてみることに、(2)  $E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1}$  になるような条件のもとで、どの位の大きさの  $R_{i+1}$  が期待できるかを計算してみることである。(3)  $R_{i+1}$  が求めれば別に計算しておいた  $Y_{i+1}/R_{i+1}$  を用いて  $Y_{i+1}$  はすぐに求められる。(4) むしろ興味のあるのは生き残りを決定するパラメーター(漁獲努力量や漁獲開始、終了年令)の値をいろいろ変えた時に、 $Y_{i+1}$  がどのような変化をするかということである。以下(1)と(2)の問題については第三章で、又、(3)(4)の問題については、それぞれ第四章、第五章で取り扱う。

## 第II章：用語並びに記号についての補足説明

持続生産と持続再生産については以下のように定義する。

持続生産：いくつもの世代にわたって同じ大きさの漁獲量を維持すること。

持続再生産：ある世代がそれと同じ大きさの次の世代を産み出すこと。

言葉を変えれば、前者は一定の大きさの漁獲量が維持されることであり、後者は一定の大きさの補充が維持されることである。

もうひとつ、まぎらわしい用語は再生産力と再生産潜力である。ここでの再生産力という言葉はかなりあいまいなものであって、次の世代の再生産量の決定にあづかる諸要素の効果の全てを含めたものである。再生産潜力とは、次の世代の再生産量の決定にあづかる要因の中で先行する世代に帰せらるべき効果をさす。一般には卵産出量や産卵親魚数で測定される。

漁獲量変動についてつけ加えるならば、すでに述べたように、これは異なった2つの変動法則——資源尾数を変動させる法則と人類の資源利用活動——の働き合いの結果としてきまるものである。したがって、漁獲量の変動を扱うテクニックと、資源尾数の変動そのものを扱うテクニック(これが元来の意味の population dynamics であると思われる)とは区別さるべきものである。両者の混乱をさけるために、漁獲量の変動を扱うのを Fisheries dynamics (HOLT and others 1959, SCHAEFER and BEVERTON 1963) とよぶのがよいと思う。又、人類の資源利用活動のうち、本報で扱う資源の“有用性”とは availability (たとえば MARR 1955, 山中 1961) のことではなく、BEVERTON and HOLT (1957) の  $Y/R$  として測られる量である。

各種記号は以下のように定義されている。

$R$  ……ある世代の初期数(厳密にはある世代の世代内過程の初期数)

$R'$  ……漁期初めの総資源尾数

$Y$  ……ある世代の一生から(厳密には世代内過程を通じて)期待される漁獲重量

$Y'$  ……ある漁期間の全漁獲重量

$C, C', C''$  ……ある世代からの漁獲尾数

$E$  ……産卵親魚数(又は産出卵数)、再生産潜力

$t$  ……時間、年令

$t_c$  ……漁獲開始年令、 $t_d$  ……漁獲終了年令

$i$  ……世代に附した番号

$N_t$  ……時間  $t$  における総資源尾数

記号の使用については、標準術語(HOLT, GULLAND, TAYLAR and KURITA 1957, 栗田 1964)に準拠するようにつとめたが、 $R$  に関してはかなり広義な解釈にわたった使い方をしている。産卵親魚数も標準術語にしたがえば、例えば  $N_E$  といった  $N$  を基本とした記号で表現されるのがよいように思われるが、添字が複雑になるのを避けるため、ここでは標準術語に準拠せず  $E$  を用いている。

第三章の中頃、III-1よりうしろの部分では、 $R_{i+1}, F_{i+1}, t_{c_{i+1}}, t_{d_{i+1}}, Y_{i+1}$  は単に  $R, F, t_c, t_d, Y$  と書かれている。なぜならば、この範囲ではこれらの量は常に  $(i+1)$  番世代に関するものであり、特に、その前後の世代のものと区別する必要がないからである。又、親世代の大きさ(又は卵産出量)は  $E_i$  とせず

$E_0$  であらわす。

### 第 III 章：魚群の持続的な加入を実現する条件

いくつかの世代にわたって個体数が変化してゆく過程は以下のように書ける。

$$E_0 \rightarrow R_1 \xrightarrow{t_{c_1}, t_{d_1}, F_1} E_1 \rightarrow R_2 \xrightarrow{t_{c_2}, t_{d_2}, F_2} E_2 \rightarrow R_3 \xrightarrow{t_{c_3}, t_{d_3}, F_3} E_3 \rightarrow R_4 \rightarrow \dots$$

こゝで、 $\rightarrow$  は世代間過程、 $\xrightarrow{\quad}$  は世代内過程を示す。まず、 $E_0$  ケの卵が産み出され（或いは  $E_0$  尾の成魚が生き残り）これから  $R_1$  尾の次の世代の再生産がある。次に、 $R_1$  尾の個体は  $t_{c_1}$  才から  $t_{d_1}$  才にかけて強さ  $F_1$  の漁業のまびきと自然死亡とのために減少し、生き残った成熟個体から  $E_1$  ケの卵が産み出される（又は  $E_1$  尾の成魚が生き残る）。以下、これに準じた個体数の増減を繰り返す。

持続的に一定の加入が実現されるためには、[III] 式で示したように、先行する世代の再生産率  $R_{i+1}/E_i$  の逆数である  $E_i/R_{i+1}$  と、次の世代の 1 尾当りの卵産出率（又は成魚までの生残率） $E_{i+1}/R_{i+1}$  が等しければよい。たゞし、こゝで  $R_{i+1}$  と、 $E_i$  の間には密度依存的な関係が存在することが前提である。密度依存的な親子関係を想定するのは、このような想定の妥当性を示唆するような証拠があるというよりは、むしろこのような関係を想定しないと持続的な加入が期待できないからである。こゝで再生産関係  $E_i/R_{i+1}$  を決定するものは産卵親魚数  $E_i$  である。一方、加入後、産卵可能な年令迄の生残率  $E_{i+1}/R_{i+1}$  を決定するものは、 $t_{c_{i+1}}, t_{d_{i+1}}, F_{i+1}$  である。したがって、 $E_i/R_{i+1} = E_{i+1}/R_{i+1}$  を満足させる条件、換言すれば持続的加入を実現する条件は  $E_i, t_{c_{i+1}}, t_{d_{i+1}}, F_{i+1}$  の組合せとしてあらわされる筈である。

第 1 章でも述べたように上述の組合せを求めるために必要な作業は  $E_i$  と  $R_{i+1}$  の関係並びに  $E_{i+1}$  と  $R_{i+1}$  の関係を実際に求めてみることである。しかも、前者を  $E_i$  の、後者を  $t_{c_{i+1}}, t_{d_{i+1}}, F_{i+1}$  の関数として求めることである。 $E_i$  と  $R_{i+1}$  の関係を求めるには再生産曲線を求めればよい。これは親の量と子の量についての観測資料があれば可能である。又、この種の作業には RICKER や BEVERTON and HOLT の研究が参考になることはすでに述べた通りである。次に与えられた加入量からの生き残り親魚数  $E_{i+1}$ （又は産出卵数）は年令別の生き残り数（又は産出卵数）の和として求められる。この計算はよく知られた単位加入量当り漁獲量 ( $Y/R$ ) の計算と非常によく似た形のものである。 $Y/R$  の計算ではその過程で平均体重を重みとして年令別の生残数を加え合わせたが、こゝでは平均体重のかわりに再生産能力の指数となるような値、たとえば、1 尾当りの卵産出数を重みとすればよい。

#### III-1：世代間過程での生き残り…… $E_0/R$ と $E_0$ の関係

この関係を求めるには、年々の産卵親魚数（産出卵数）と加入量に関する観測値があればよい。しかし、実際には観測結果のバラツキが大きい上に、観測数も充分でないので、どのような型の再生産が行われるのかデータに基づいてこれをきめることはむづかしい。

親子の間、即ち  $E_0$  と  $R$  の間に存在する関係は、多分、

- ① 親魚 1 尾当りの再生産量  $R/E_0$  は産卵親魚数（又は産出卵数） $E_0$  の増加に応じていろいろの形で減少し、  
 ② 且つ、産卵親魚数（又は産出卵数）が 0 の時は再生産量も 0 になる。  
 といった形のものであろう。このような条件を満足するものとして、第 1 表に示すように RICKER 型 (A-1,

**Table 1.** Parent-offspring relationships in the North Pacific albacore and the Pacific bigeye.  
 Note-1;

Unit of stock size

1) Offspring stock size  $R$

a) albacore...Hooking rate at the beginning of I-age

b) bigeye...Number of 10000 fish at the beginning of 0-age

2) Parent stock size  $E_0$

- a) albacore...Hooking rate of spawning school  
b) bigeye...Index of number of eggs spawned

Note-2:

In the calculation of mean square, observations on the year classes mentioned below are employed;

- a) albacore...1952 through 1959 excluding 1958  
b) bigeye...1953 through 1961

Species	Notation of Equation	Formula	D. F.	Mean-Square
Albacore	A-1	$R = 10.829 E_0 e^{-0.943 E_0}$	5	2.13
	A-2	$R = \frac{1}{0.400 - 0.129/E_0}$	5	1.48
	A-3	$R = -3.195 E_0^2 + 8.139 E_0$	5	3.84
	A-4	$R = 3.756$	6	1.71
Bigeye	B-1	$R = 44.883 E_0 e^{-0.0136 E_0}$	7	59276.57
	B-2	$R = \frac{1}{0.000791 + 0.00353/E_0}$	7	59987.57
	B-3	$R = -0.2529 E_0^2 + 35.40 E_0$	7	59951.14
	B-4	$R = 1227.78$	8	50687.45

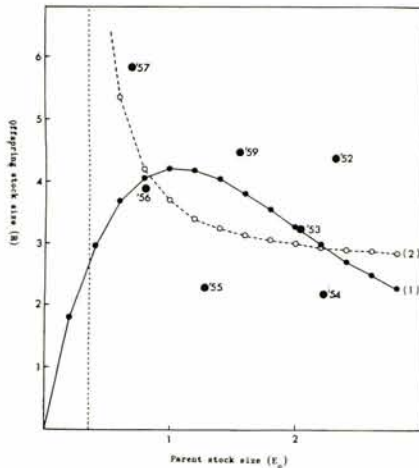


Fig. 1. An adaption of reproduction curves to the observed relationship between parent stock size ( $E_0$ ) and offspring stock size ( $R$ ) of the North Pacific albacore

Notes:

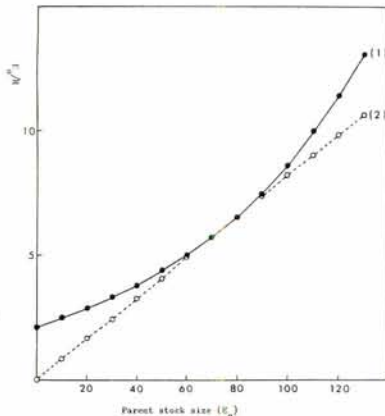
line-(1)... $R = 10.829 E_0 e^{-0.943 E_0}$

line-(2)... $R = \frac{1}{0.400 - 0.129/E_0}$

B-1:  $\log R/E_0 = -aE_0 + b$ , BEVERTON and HOLT 型 (A-2, B-2:  $R/E_0 = 1/aE_0 + b$ ), 拋物線型 (A-3, B-3:  $R/E_0 = -aE_0 + b$ ) を想定し、ビンナガとメバチについての観測値を用いてそれぞれのパラメーターを計算してみた。又、この表の〔A-1〕式、〔B-1〕式を用いて行なった推定加入量の計算結果を第2表に示す。 $E_0$ の測定単位はビンナガでは相対的に産卵親魚数を示すものとして釣獲率、メバチでは産出卵数指数である。又、 $R$ のそれはビンナガでは1才当初換算の釣獲率、メバチでは0才初期換算の尾数(10<sup>4</sup>)である。加入量の推定値の計算と同時に計算値と実測値の偏差も算出し、結果を平均平方として各推定式毎に第1表に示してある。又、〔A-1〕式、〔A-2〕式についての実測値と計算値の比較を第1図に示す。これらの図表からみると、ビンナガでは BEVERTON and HOLT 型の再生産曲線には不連続点があられる。又、拋物線型では実測値からのズレは RICKER 型のそれよりやゝ大きい。これらの諸点を考慮して、目下のところ、ビンナガの再生産曲線としては一応 RICKER 型が無難らしいと考えられている(須田 1966-b, c)。メバチの場合、産出卵数が比較的せまい領域でしか観測されていないので、どの型の再生産曲線を想定すればよいのか未だ判断は下しがたい。本報では、両魚種を通じて RICKER 型を事例的にとりあげることとし、今後この型のみを扱う。なお、 $E_0$ が0の時は  $R$ も0になるという条件にとらわれず、単に実測値への適合だけを考えるならば補充量を親魚量とは無関係に一定(第1表の A-4, B-4)とおくと偏差が顕著に小さくなることも注目すべきことがらである。

**Table 2.** Calculated values of  $R$  (Amount of recruitment) and  $E_0/R$  (Reciprocal of reproduction rate) against various values of  $E_0$  (Parent stock size) supposing RICKER-type reproduction.

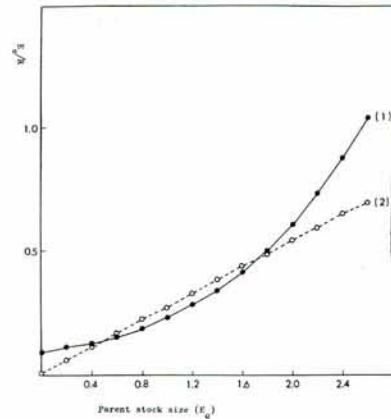
North Pacific Albacore			Pacific Bigeye			Pacific Bigeye (Continued)		
$E_0$	$R$	$E_0/R$	$E_0$	$R$	$E_0/R$	$E_0$	$R$	$E_0/R$
0.0	0.0000	0.092	0	0.0	22280	75	1215.1	61723
0.2	1.7936	0.112	5	209.5	23866	80	1210.1	66110
0.4	2.9703	0.135	10	391.8	25523	85	1201.8	70727
0.6	3.6911	0.163	15	548.8	27332	90	1187.6	75783
0.8	4.0756	0.196	20	683.9	29244	95	1172.6	81017
1.0	4.2189	0.237	25	799.1	31285	100	1153.4	86700
1.2	4.1929	0.286	30	898.4	33505	105	1131.1	92830
1.4	4.0506	0.346	35	975.7	35879	110	1105.9	99466
1.6	3.8346	0.417	40	1041.5	38406	115	1078.7	106610
1.8	3.5725	0.504	45	1094.9	41100	120	1055.8	113658
2.0	3.2872	0.608	50	1137.8	43944	125	1026.9	121726
2.2	2.9944	0.735	55	1167.6	47105	130	997.7	130300
2.4	2.7053	0.887	60	1190.2	50412	135	963.5	140114
2.6	2.4939	1.043	65	1204.8	53951	140	936.2	149541
2.8	2.1650	1.293	70	1212.8	57718	145	904.7	160274



**Fig. 2-1.** Expected relationship between stock size ( $E_0$ ) and offspring stock size ( $R$ ) of the Pacific bigeye shown as the changes of  $E_0/R$  against  $R$

Notes;

- line-(1)---Expected relationship under RICKER's reproduction
- line-(2)---Expected relationship under the constant recruitment



**Fig. 2-2.** Expected relationship between parent stock size ( $E_0$ ) and offspring stock size ( $R$ ) of the North Pacific albacore shown as the changes of  $E_0/R$  against  $R$

Notes;

- line-(1)---Expected relationship under RICKER's reproduction
- line-(2)---Expected relationship under the constant recruitment



次にこのようにして求めた再生産曲線を  $E_0/R=f(E_0)$  の型に書きなおす必要がある。これは RICKER 型では  $E_0/R=e^{(aE_0-b)}=ce^{aE_0}$  で、 $E_0$  の増加に応じて指数的な増加を示す右上りの曲線である。ちなみに BEVERTON and HOLT 型では  $E_0/R=\frac{1}{b}+\frac{a}{b}E_0$  で右上りの直線であり、拋物線型では  $E_0/R=1/(b-aE_0)$  で  $b-aE_0$  の逆函数となる。ビンナガ、メバチについて求めた RICKER 型の再生産曲線を  $E_0/R$  の形で示すと、それぞれ  $E_0/R=0.0923e^{0.943E_0}$  及び  $E_0/R=0.0223e^{0.0136E_0}$ 。これをそれぞれ第2図(1)、(2)並びに第2表に示す。第2図(1)、(2)には同時に再生産量が親魚の量にかかわらず一定とおいた時に期待される直線 ( $E_0/R=E_0/c$  但し、 $c$  はビンナガで 3.756、メバチで 1227.78) も示してある。

### III-2: 世代内過程での生き残り… $E/R$ と $F$ , $t_c$ , $t_u$ の関係

第1章で述べたように生活形(1)を想定しているので、世代内過程での自然死亡係数  $M$  は一定であり、年令別の生存個体数は  $F$ ,  $t_c$ ,  $t_u$  が与えられれば評価できる。個々の年令群毎に1尾当りの再生産潜在力が評価できるなら、その個体群の全再生産潜在力は年令別個体数と年令別の1尾当り再生産潜在力の積の和になる。後述するように、メバチではこのような手続きで再生産潜在力の評価が行なわれている。しかし、再生産潜在力の評価に必要な情報が充分でない時には、再生産潜在力は例えば成熟群の資源重量に比例するといった考え方で近似するのもよからうし、或いはもっと単純に再生産潜在力に対する産卵親魚の大きさの効果を無視して単に成熟個体数に比例するといった考え方をとるのもやむを得ない。北太平洋のビンナガがその例で成熟年令が6才であるのでVI才魚、VII才魚、VIII才魚の個体数の和として再生産潜在力が測られている。このビンナガの場合、主な漁業は未成熟群を対象として北太平洋流域で行なわれる。この漁場への平均加入年令は3.8才(須田 1966-a)。満6才に達する迄この海域に滞在し、成熟と共に北太平洋流域の漁場をはなれて産卵場である北赤道流域へ移動する(須田 1962)。北赤道流域でも多少の漁業は行なわれるがその規模は大きくはない。 $F$  を北太平洋流域での6才以下の未成熟魚の漁獲死亡係数、 $F'$  を北赤道流域での6才以上の成熟魚の漁獲死亡係数とすると、漁業によるまびきの強さ  $F$ ,  $F'$  と1産卵期間(4, 5, 6月の3ヶ月間)の平均産卵親魚数との関係は次のようになる(須田 1966-a)。

$$E=0.368e^{-(6.0-3.8)F'} \left[ \frac{1-e^{-\frac{0.4+F'}{4}}}{0.4+F'} + \frac{1-e^{-\frac{0.6+F'}{4}}}{0.6+F'} e^{-0.4-F'} + \frac{1-e^{-\frac{0.8+F'}{4}}}{0.8+F'} e^{-1.0-2F'} \right] \times 4R \quad \text{[IV]}$$

ただし、この計算で自然死亡係数は6才に達するまでは0.2に固定されている。又、産卵場における自然死亡係数は年令の増大とともに大きくなると考え、VI才魚の自然死亡係数は0.4、VII才魚並びにVIII才魚のそれはそれぞれ0.6、0.8としている。上述したように漁獲の大部分は未成熟時代に行なわれるために、 $F'$  にくらべて  $F$  が著しく大きく実用的には  $F'$  は無視してもよい程度である。 $F'$  を無視すれば [IV] 式は、

$$E=0.703e^{-2.2F'} R \quad \text{[IV']}$$

と簡単になる。

メバチでは個体の成熟は、一部のものではすでに2才頃から始まる(木川 1966)。平均加入年令はほぼIV才であるから(須田・久米 1957)、漁業の対象となる前にすでにかなりの個体の産卵は始まっているわけで、この点がさきに例としてあげたビンナガの場合とは著しく異なる。ただし、その後の成熟はむしろ徐々に進行し、7才に至るまで群成熟度と1尾当り産出卵数の増大が続く(木川 1966)。本種では群成熟度  $A_t$  や1尾当り産卵数に関する生物学的知見  $B_t$  をも加味して、

$$E=R \int_0^{t_c} e^{-Mt} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt + R e^{-Mt_c} \int_{t_c}^{t_u} e^{-2(t-t_c)} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt \quad \text{[V]}$$

の形で再生産潜在力を評価する。この式の  $A_t$ ,  $B_t$  は木川(1966)の報告に掲載された資料をもとに、以下のよう  
に書ける(第3図)。

$$A_t=118.2-188.0 \times e^{-0.1033(2t+0.2410)} \quad \text{[VI]}$$

$A_t$  の単位は%, たゞし  $t \geq 7$  の範囲では  $A_t=A_7$

$$B_t=9904 [1-e^{-0.1033(2t-0.2410)}]^{3.436} \quad \text{[VII]}$$

但し、 $t \geq 7$  の範囲では  $B_t = B_7$

なお、須田・久米(1967)によればメバチの自然死亡係数  $M$  は 0.361 と推定されている。〔IV〕式、〔IV'〕式、〔V〕式の両辺を  $R$  で割れば単位加入当期期待し得る再生産潜力(或いは世代内の生き残り率)が求まる。

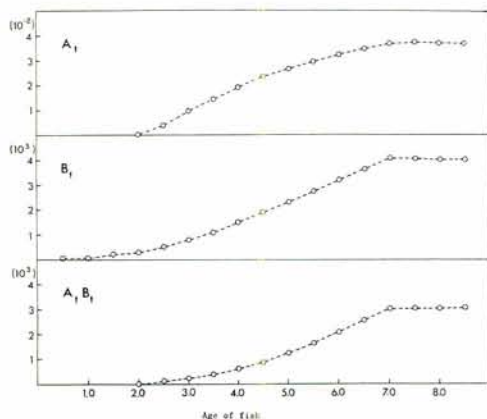


Fig. 3. Age dependant changes in spawning potentialities of the Pacific bigeye Notes;

Upper panel... $A_t$ , Group maturity shown in percentage (Equation-VI)  
Middle panel... $B_t$ , Relative number of eggs produced by 1 mature female (Equation-VII)  
Lower panel... $A_t \times B_t$

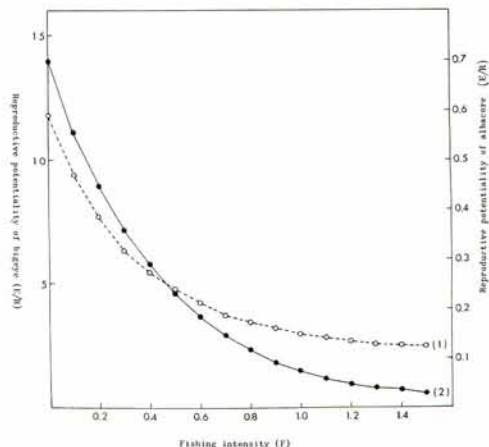


Fig. 4. Expected reproductive potentialities of unit recruitment ( $E/R$ ) against various values of fishing mortality ( $F$ ), where  $E/R$  is relative number of eggs spawned by unit recruitment of bigeye(Curve-1)or relative number of mature fish expectable from unit recruitment of the North Pacific albacore (Curve-2)

ビンナガとメバチについてそれぞれ〔IV'〕式と〔V〕式を用いて計算した再生産潜力と  $F$  との関係第3表並びに第4図に示す。単位はビンナガでは釣獲率、メバチでは卵数指数である。 $F$  の増加に対して当然再生産潜力は低下する。

Table 3. Reproductive potentialities of unit recruitment ( $E/R$ ) calculated for the North Pacific albacore and the Pacific bigeye adopting equations IV' and V.

F	Albacore	Bigeye	F	Albacore	Bigeye
0.0	0.7028	118869	1.0	0.0779	30239
0.1	0.5640	94510	1.1	0.0625	28407
0.2	0.4526	77153	1.2	0.0502	26871
0.3	0.3633	64544	1.3	0.0403	25571
0.4	0.2915	55207	1.4	0.0323	24460
0.5	0.2340	48161	1.5	0.0259	23500
0.6	0.1877	42749	1.6	0.0208	22666
0.7	0.1507	38519	1.7	0.0167	21934
0.8	0.1209	35160	1.8	0.0134	21289
0.9	0.0971	32453	1.9	0.0108	20715

III-3: 世代間の生き残り率の逆数  $E_0/R$  と世代内での生き残り率  $E/R$  とを等しくする条件

$E_0/R = E/R$ , 即ち  $E_0 = E$  とする条件を求めるには, たとえば, ビンナガでは産卵場における漁獲の影響を無視し,  $E_0/R$  としては第1表の [A-1] 式を変形して求めた  $E_0/R = 0.0923e^{0.943E_0}$  を用い  $E/R$  としては [IV'] 式を用いて,

$$0.0923e^{0.943E_0} = 0.703e^{-2.2F'} \dots\dots\dots \text{[VIII-1]}$$

とおき, これを満足させる  $F$  と  $E_0$  の組み合わせを求めればよい。産卵場での漁獲の影響をも考慮したい場合には [IV'] 式のかわりに [V] 式を用い,

$$0.0923e^{0.943E_0} = 0.368e^{-2.2F'} \left[ \frac{1 - e^{-\frac{0.4+F'}{4}}}{0.4+F'} + \frac{1 - e^{-\frac{0.6+F'}{4}}}{0.6+F'} e^{-0.4-F'} + \frac{1 - e^{-\frac{0.8+F'}{4}}}{0.8+F'} e^{-1.0-2F'} \right] \times 4 \dots\dots\dots \text{[VIII-2]}$$

とおき, 種々の  $F, F'$  の組み合わせに対して  $E_0$  を解けばこれが求める条件である。又, メバチでは第1表 [B-1] 式を変形した  $E_0/R = 0.0223e^{0.0136E_0}$  と [V] 式を用いて,

$$0.0223e^{0.0136E_0} = \int_0^{t_c} e^{-Mt} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt + e^{-Mt_c} \int_{t_c}^{t_a} e^{-(F+M)(t-t_c)} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[VIII-3]}$$

とおき,  $t_c, t_a, F$  のいろいろな組み合わせに対して  $E_0$  を解けばよい。[VIII-2] 式や [VIII-3] 式の場合のように独立変数が2ヶ以上ある場合の計算では, 最初とくに興味のもたれる因子を一つ残して, 他の諸因子を固定してしまうのがよい。まず, 固定しなかった因子を予定した範囲で一通り変化させ, 次に固定した因子のレベルを1段階変えて前と同じ操作を繰り返す。これを固定した方の因子のとるべきレベルの数だけくり返せばよい。ビンナガについては [VIII-2] 式を用いた場合には, まず  $F'$  を, またメバチの場合には  $t_c$  と  $t_a$  を固定した。ビンナガの場合,  $F'$  の変化の領域は  $F$  のそれよりもせまいし, メバチの場合には漁具をはえなわに固定する限り,  $t_c$  と  $t_a$  の変化はあまり気にする必要がないからである。一般に [VIII] 式を解く計算は複雑なので, 著者は図を用いて解を求めた。この場合, 第5図に例示したように縦軸を共通にとり, その左側パネルAに  $E_0/R$  を, 右側パネルBに  $E/R$  を, それぞれ  $E_0$  及び  $F$  に対してプロットすれば便利である。この図は太平洋のメバチについての図解例であるが, こゝでは  $E/R$  を計算するのに [V] 式の  $F$  を独立変数とし,  $t_c$  と  $t_a$  はそれぞれ4才と無限大に固定している。図示した矢印を追えば色々の大きさの  $F$

に対して  $E_0/R$  と  $E/R$  を等しくするような  $E_0$  を求めることができる。このようにして求めた  $F$  と  $E_0$  の関係を第6図に示す。この図には, 別に求めたビンナガについての計算結果 ( $F'$  を無視し, [VIII-1] 式を用いて計算) をも示してあるが, この場合  $F$  に対して  $E_0$  が直線に並ぶ。これは [VIII-1] 式の両辺の対数をとると,  $E_0$  と  $F$  の間に直線的な関係が求まることから理解できる。

なお, 第5図の例でパネルAの再生産曲線 ( $E_0/R$ ) とパネルBの世代内での生き残り曲線 ( $E/R$ ) とは, 必要とあらば別の形のものにとりかえることもできる。たとえば, 再生産量を親魚量にかかわらず一定におきたいなら, 再生産関係をあらわすものとして, あらためてパネルAに直線  $E_0/R = E_0/c$  をもってくればよい。また, 漁業に変化が生じて  $t_c, t_a$  がかわれば, 当然パネルB

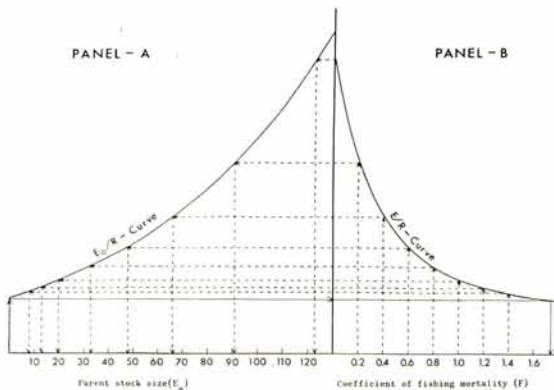


Fig. 5. Graphical estimation of parent stock size ( $E_0$ ) which realize sustainable reproduction against various values of fishing intensity (the Pacific bigeye)

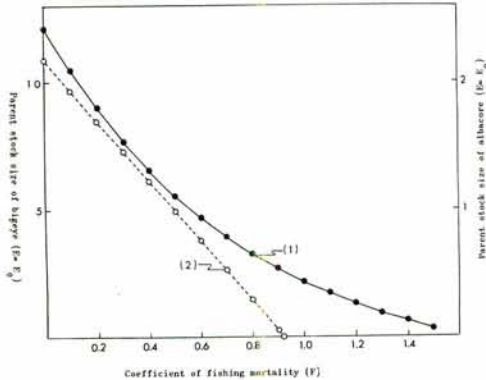


Fig. 6. Combinations of parent stock size and fishing mortality coefficient which realize sustainable reproduction

Notes:

line-(1)---The Pacific bigeye, where  $E$  is in relative number of eggs spawned

line-(2)---The North Pacific albacore, where  $E$  is in relative number of mature fish

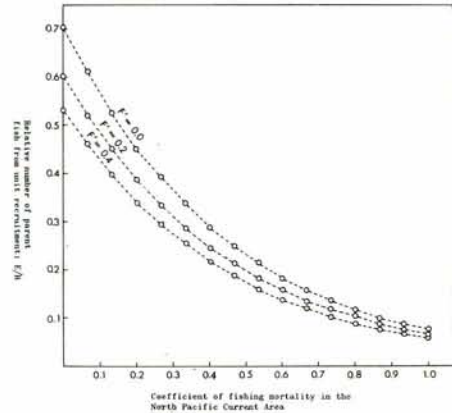


Fig. 7. Relative number of parent fish which is mathematically expectable from a unit recruitment ( $E/R$ ) when two albacore fisheries take places in the North Pacific current area and in the North Equatorial current area respectively.

Notes:

$F$ : Fishing mortality coefficient for the immature group in the North Pacific current area

$F'$ : Fishing mortality coefficient for the spawning group in the North Equatorial current area

の  $E/R$  曲線の形にも変化がおきる。この場合、新しい曲線をあらためてパネルBに入れることになる。もう一つの例として、2種の漁業の大きさが同時に変化する場合のビンナガの持続加入を得る条件を〔VIII-2〕式を用いて求める場合を示そう。まず、パネルAには再生産関係をあらわす  $E_0/R = 0.0923e^{0.943E_0}$  を与えておけばよい。一方、パネルBには〔VIII-2〕式の右辺の  $F'$  が異なった値をとる毎に異なった曲線を入れる。 $t_e = 3.8$ ,  $F' = 0, 0.2, 0.4$ とした時の曲線群は第7図に示すようなものである(須田1966-a)。このうち  $F' = 0$ のときの曲線が第4図に示されたものである。まず、 $F' = 0$ の時の  $E/R$  曲線をパネルBへ入れ  $F$  の値をいろいろ変化させて  $F$  と  $E_0$  の組み合わせをよみとる。次にパネルAの曲線は全くもとのままでパネルBの曲線だけを第7図の  $F' = 0.2$  に対応する曲線(もっとくわしく計算する必要があるなら  $F' = 0.1$  の曲線を描けばよい)に入れかえて再び  $F$  と  $E_0$  の組み合わせを求める。これがすめば、再びパネルAは固定したまま第7図の  $F' = 0.4$  に対応する曲線を入れ上述の操作を繰り返す。

#### 第IV章：持続生産量の計算

##### IV-1：算出の手順

前章では持続再生産が実現される条件を求めた。それは  $E_0$ ,  $t_c$ ,  $t_d$  と  $F$  (必要とあらば  $F'$ ) の組み合わせであるが、これが求まるとこれらの値を用いて次の作業に移る。

こゝでまず、再生産曲線を用いて親魚量  $E_0$  から産み出される次の世代の量  $R$  が計算できる。この  $R$  は持続加入量である。

次に、 $Y/R$  と  $F$  (必要とあらば  $F'$ )、 $t_c$ ,  $t_d$  との関係別に評価しておけば〔II'〕式にしたがって、 $Y/R \times R = Y$  として持続生産量が計算できる。 $Y/R$  と  $t_c$ ,  $t_d$  並びに  $F$  (必要とあらば  $F'$ ) との関係はたとえば BEVERTON and HOLT (1957) によって与えられている。加入が瞬間的に行なわれるとした場合  $Y/R$  は一

般的には,

$$Y/R = F \int_{t_c}^{t_d} N_t \cdot W_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[IX]}$$

とかける。 $N_t$ は時間  $t$  における個体数である。 $W_t$ は BEVERTON and HOLT のモデルでは BERTALANFFY の式から導かれているが、必ずしもそうである必要はない。たとえば、ビンナガの成長式を OTSU (1960) は GOMPertz の式で表わしたことがある。この場合、〔年令—体長〕関係は  $L=(118)(0.177)^{1.43(-t+0.23)}$  である。これから、〔年令—体重〕関係を求めるには、〔体長—体重〕関係(たとえば須田・薬科 1961)を用いて  $W_{118}(=34.38)$  を計算し、これを用いて〔年令—体長〕関係を変形し、 $W=34.38(0.177)^{3 \times 1.43(-t+0.23)}$  とすればよい(須田 1966-a)。ビンナガ、メバチの双方について計算した  $Y/R$  を第4表に示す。この計算では〔IX〕式はメバチに対しては

$$Y/R = F \int_{t_c}^{t_d} e^{-Mt_c - Z(t-t_c)} W_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[IX']}$$

ビンナガに対しては、 $R$  が1才初期の釣獲率であるので

$$Y/R = F \int_{t_c}^{t_d} e^{-M(t_c-1) - Z(t-t_c)} W_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[IX']}$$

としている。 $W_t$ の計算のための成長式としては、この表に表示したビンナガ-1とメバチでは BERTALANFFY の式(行縄・藪田 1963a, b)を、ビンナガ-2では GOMPertz の式(OTSU 1960)が用いられている。

**Table 4.** Yield per unit recruitment calculated for the North Pacific albacore ( $t_c=3.8$ ) and the Pacific bigeye ( $t_c=4$ ) employing Equation-IX.

F	Albacore-1	Albacore-2	Bigeye
0.1	1.061	0.934	3.134
0.2	1.895	1.671	5.065
0.3	2.563	2.252	6.282
0.4	3.089	2.710	7.070
0.5	3.506	3.072	7.596
0.6	3.837	3.357	7.958
0.7	4.099	3.582	8.216
0.8	4.306	3.759	8.407
0.9	4.471	3.898	8.522
1.0	4.601	4.007	8.666
1.1	4.705	4.093	8.759
1.2	4.786	4.159	8.836
1.3	4.851	4.212	8.901
1.4	4.902	4.252	8.958
1.5	4.942	4.283	9.009

Note;

The growth curves mentioned below are employed to give

$W_t$  in Equation-IX;

a) Albacore-1...BERTALANFFY type (YUKINAWA & YABUTA, 1963)

b) Albacore-2...GOMPertz type (OTSU, 1960)

c) Bigeye...BERTALANFFY type (YUKINAWA & YABUTA, 1963)

実際に北太平洋のビンナガについて持続生産量の計算例を示そう。こゝで用いる再生産曲線は第1表の〔A-1〕式、すなわち、

$$R = 10.829 E_0^{-0.943 E_0} \dots\dots\dots \text{[X]}$$

〔VIII-1〕式は形が簡単なので、とくに図を用いなくても直接持続加入を実現する  $F$  と  $E_0$  の組み合わせが計算できる。この組み合わせを第5表の一行目 ( $F$ ) と二列目 ( $E_0$ ) に示す。第二列目の  $E_0$  を〔X〕式に代入して第三列目の  $R$  が得られる。第四列目の  $Y/R$  は〔IX'〕式の  $W_t$  に BERTALANFFY 型の成長式を代入して求めた第4表ビンナガ-1 の値をそのまま写したものである。三列目の値と四列目の値の積が持続生産量である。 $M, S, Y$  は  $F=0.6$  で実現される。 $F$  と持続生産量の関係は第9図下段に示してある。本種の場合、単位努力の catchability が実際にわかっていないので、相対魚群量を実際量に換算する手がかりがな

Table 5. An example of the calculation of sustainable yield (North Pacific albacore)

$F$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$
0.0	2.1529	3.0633	0.000	0.00
0.1	1.9196	3.4035	1.061	3.61
0.2	1.6861	3.7254	1.895	7.06
0.3	1.4531	3.9997	2.563	10.25
0.4	1.2193	4.1828	3.089	12.92
0.5	0.9863	4.2150	3.506	14.78
0.6	0.7536	4.0096	3.837	15.38
0.7	0.5195	3.4472	4.099	14.13
0.8	0.2858	2.3639	4.306	10.18
0.9	0.0532	0.5479	4.471	2.45
0.92	0.0000	0.0000		0.00

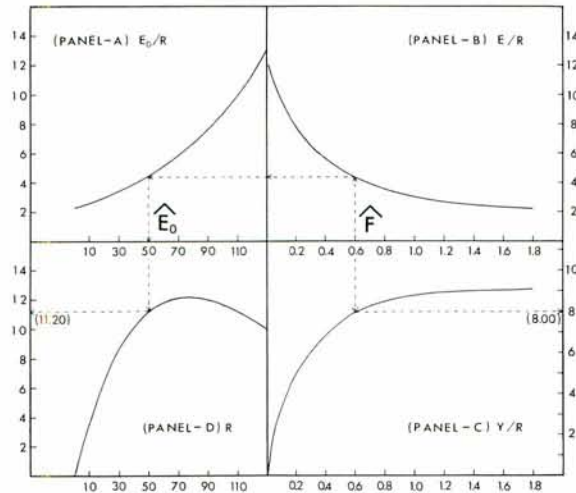


Fig. 8. Diagrammatic calculation of sustainable recruitment ( $R$ ) and yield per recruitment ( $Y/R$ ) against various levels of fishing mortality coefficient ( $F$ ) (The Pacific bigeye)

Notes:

Panel-A...Parent-offspring relationship in ( $E_0/R \sim R$ ) form

Panel-B...Reproductive potentials of unit recruitment for various values of  $F$

Panel-C...Yield per unit recruitment against various values of  $F$

Panel-D...Amounts of recruitment for various  $E_0$  values (Reproductive curve in an ordinal form)

く、持続生産量は相対量 ( $\text{kg} \cdot \text{釣獲率}$ ) で示してある。

IV-2: 図による解の求め方

III-1, III-2, III-3 及びIV-1 で述べてきた計算の手つゞきをメバチについて求めて図示すると、第8図の如くなる。

(1) パネルAの曲線は  $E_0/R$  の形で与えられた再生産関係である。こゝに示した例は第2表の数字をそのままプロットしたものである。これはまた、第2-1図の曲線(1)に相当する。

(2) パネルBは [V] 式からみちびかれた単位加入量当りの再生産潜力  $E/R$  である。たゞし、こゝでは  $t_0=4, t_d \rightarrow \infty$  とおいている。

(3) この図のパネルAとパネルBは第5図のそれらに対応するものである。III-3 で述べたようにパネルBの  $F$  からスタートして点線を矢印の方向に辿り、パネルAに入って  $E_0$  を読めばこれが漁獲死亡係数  $F$  のもとで世代間の生き残り率の逆数と世代内での生き残り率を等しくする、換言すれば持続再生産を可能にする産卵親魚数である。逆に、 $E_0$  が与えられればこの線を逆方向に辿って産卵親魚数が  $E_0$  のレベルにある時に持続再生産を可能にする  $F$  が求まる。こうして自由に  $F$  のレベルをかえて、それに対応する  $E_0$  を、また、逆に種々の  $E_0$  の値に対する  $F$  を求めることができる。

(4) 持続再生産を実現する  $F$  と  $E_0$  の組み合わせが求まれば、次に  $F$  に対応する  $Y/R$  と  $E_0$  に対応する  $R$  を求める作業に移る。前者はパネルCで後者はパネルDで行なわれる。

(5) パネルCには  $Y/R$  曲線が与えてある。こゝに示した例は BEVERTON and HOLT の式にしたがって計算したもの(第4表)である。こゝで、 $Y/R$  を求めるにはパネルBの  $F$  から垂線をおろし、 $Y/R$  曲線との交点で縦軸の値を読みとればよい。

(6) パネルDには RICKER の再生産曲線(第1表B-1, 或いは第2表)が与えてある。 $R$  を求めるには  $E_0$  (パネルA) からパネルDへ垂線をおろし、再生産曲線との交点を求めこゝで縦軸の値をよみとればよい。

(7) パネルDとパネルAの関係をのぞけば、パネルA, B及びCの3者に与えられた情報は相互に独立であり、別個の考え方及びデータ・ソースからひき出されるものである。したがって、それぞれの分野での研究が現在より更に進歩し情報が充実した段階で、或いはまた新しい漁法の導入や漁場開拓の進捗に応じて、個

Table 6. An example of calculation of sustainable yield by diagrammatic method employing illustrations in Fig. 8. (The Pacific bigeye)

$F$ (Panel-B)	$E_0$ (Panel-A)	$R$ (Panel-D)	$Y/R$ (Panel-C)	$Y(10^4\text{ton})$ ( $R \times Y/R$ )
0.0	123.2	1034	0.000	0
0.1	106.2	1126	3.134	35
0.2	91.5	1185	5.065	60
0.3	78.2	1211	6.282	76
0.4	66.6	1209	7.070	85
0.5	56.7	1175	7.596	89
0.6	48.0	1120	7.958	89
0.7	40.2	1043	8.216	86
0.8	33.6	952	8.407	80
0.9	27.7	852	8.552	73
1.0	22.7	745	8.666	65
1.1	18.0	635	8.759	56
1.2	14.0	522	8.836	46
1.3	10.0	387	8.901	34
1.4	7.0	285	8.958	25
1.5	3.5	151	9.009	14
1.6	1.0	48	9.054	4
1.64	0.0	0	9.054	0

々のパネルに与えられた曲線は自由に新しいものととりかえることができる。たとえば、今、仮りに新しい漁法が導入され、 $t_c$  や  $t_d$  に変化がおきてもパネルAとDでは変更の必要はなく、たゞ、パネルBとCに新しい  $E/R$  並びに  $Y/R$  と  $F$  の関係を与えればすむ。

第6表に、与えられた  $F$  に対する  $E_0$ ,  $R$ ,  $Y/R$  を第8図を用いてよみとった結果を示す。よみとりをなるべく細かく行なうために、実際に第8図を描くには大型のグラフ用紙を用いている。勿論、第6表の第五列

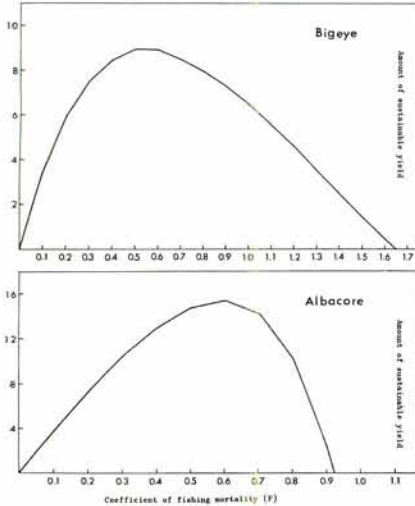


Fig. 9. Calculated sustainable yield curves under the conditions shown in Fig. 6

Notes;

Upper panel...Bigeye  
Lower panel...Albacore

ところで、第8図のパネルAとパネルDとは本質的には同一のものである。したがって、パネルAでの作業をはふいて直接パネルDとパネルBの情報をむすびつけることができる筈である。それには第10図に示したようにすればよい。まず、第8図のパネルDと同じように、縦軸に  $R$  を、横軸に  $E_0$  を、とり再生産曲線を与えておく。こゝでこの座標の原点を通る直線を考える。今、この直線と  $E_0$  軸のなす角の余接 (contangent) が単位加入当期期待される再生産能力  $E/R$  に等しくなるような直線をひき、この直線と再生産曲線との交点の座標を  $(E_0, R)$  とすると  $E_0/R = E/R$  となる。この場合この直線の余接に対応する  $F$  の値を与えておけば、持続再生産を実現する条件  $(F, E_0)$  やその時の持続再生産量  $R$  は直接図から読みとることができて、後の作業に便利である。

### 第 V 章：適 用 例

我々が漁業の管理を行なうという観点からとくに関心がもたれるのは、人類の資源利用形態が変化した場合、これが持続生産量にどのような影響を及ぼすであろうかということである。同時に総漁獲量そのものだけでなく、単位努力当り漁獲量の変化も考慮すべき重要な要素になると思われるので、これらについて若干の試算を行なってみる。

#### V-1: 漁獲開始年齢の変化にともなう持続生産量曲線の変化

まずメバチについて [V] 式及び [IX'] 式の漁獲開始年齢  $t_c$  を 0, 2, 3, 4, 6 と変化させ  $F$  に対して  $E/R$ ,

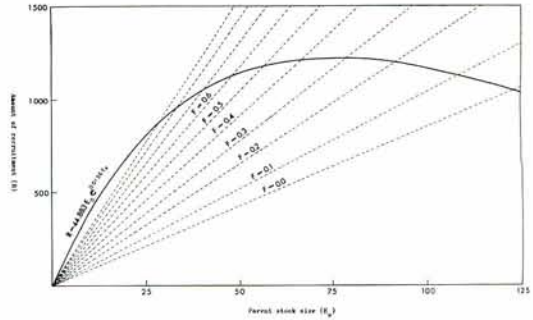


Fig. 10. Expedient diagrammatic method to calculate the amount of sustainable recruitment for various levels of fishing mortality coefficient ( $F$ )

Notes;

The cotangents of dotted lines represent  $E/R$  values which are expected under  $F$  values noted along the lines.

( $Y$ ) は第三列の  $R$  と第四列の  $Y/R$  の積でこの計算だけは手で行うことになる。こうして計算された持続生産量 ( $Y$ ) を第9図上段に示す。



Table 7. Calculation of sustainable yield by age of first capture of the Pacific bigeye.

$t_c$	$F$	$E/R$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$	$t_c$	$F$	$E/R$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$
0	0.0	118869	123.2	1034.3	0.000	0	6	0.8	35160	33.6	954.9	8.407	80
	0.1	63883	77.5	1212.2	3.390	41		0.9	32453	27.7	852.7	8.552	73
	0.2	35418	34.0	961.4	4.258	41		1.0	30239	22.7	748.0	8.666	65
	0.286	22280	0.0	0.0	4.196	0		1.1	28407	18.0	632.4	8.759	55
2	0.0	118869	123.2	1034.3	0.000	0	1.2	26871	14.0	519.7	8.836	46	
	0.1	78027	92.2	1181.0	3.816	45	1.3	25571	10.0	391.7	8.901	35	
	0.2	52838	63.2	1200.4	5.658	68	1.4	24460	7.0	285.7	8.958	26	
	0.3	36877	37.0	1004.2	6.529	66	1.5	23500	3.5	149.7	9.009	13	
	0.4	26486	12.5	473.3	6.920	33	1.6	22666	1.0	44.3	9.054	4	
	0.461	22280	0.0	0.0	7.071	0	1.640	22280	0.0	0.0	9.071	0	
3	0.0	118869	123.2	1034.3	0.000	0	0.0	118869	123.2	1034.3	0.000	0	
	0.1	86136	99.6	1152.9	3.600	42	0.1	109000	116.8	1070.0	1.915	20	
	0.2	64335	78.2	1211.2	5.606	68	0.2	101126	111.3	1099.0	3.290	36	
	0.3	49465	58.8	1185.8	6.747	80	0.3	94779	106.6	1122.5	4.288	48	
	0.4	39079	41.3	1056.8	7.410	78	0.4	89613	102.5	1141.4	5.022	57	
	0.5	31656	26.2	823.7	7.804	64	0.5	85365	98.8	1156.5	5.569	64	
	0.6	26230	11.9	454.2	8.044	37	0.6	81840	95.7	1168.3	5.984	70	
	0.698	22280	0.0	0.0	8.194	0	0.7	78886	93.3	1177.1	6.303	74	
							0.8	76388	90.7	1185.0	6.554	78	
							0.9	74257	88.5	1191.6	6.754	80	
4	0.0	118869	123.2	1034.3	0.000	0	1.0	72424	86.9	1196.2	6.916	83	
	0.1	94510	106.2	1124.9	3.134	35	1.1	70836	85.4	1200.5	7.050	85	
	0.2	77153	91.5	1183.6	5.065	60	1.2	69449	83.8	1202.8	7.164	86	
	0.3	64544	78.2	1211.3	6.282	76	1.3	68230	82.5	1205.6	7.260	88	
	0.4	55207	66.6	1207.9	7.070	85	1.4	67151	81.4	1207.5	7.344	89	
	0.5	48161	56.7	1177.2	7.596	89	1.5	66190	80.2	1209.1	7.417	90	
	0.6	42749	48.0	1121.4	7.958	89	1.6	65331	79.2	1210.7	7.482	91	
	0.7	38519	40.2	1044.2	8.216	86	1.7	64557	78.5	1211.0	7.541	91	

Notes: In the calculation of  $E_0/R$  value, equation B-1 in table-1 is employed.

Table 8. Calculation of sustainable yield by age of first capture of the Pacific albacore.

$t_c$	$F$	$E/R$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$	$t_c$	$F$	$E/R$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$
1	0.0	0.7028	2.1528	3.0632	0.000	0.00	5	0.4	0.3158	1.3043	4.1301	3.037	12.54
	0.1	0.4262	1.6223	3.8064	1.335	5.08		0.5	0.2586	1.0923	4.2239	3.477	14.69
	0.2	0.2586	1.0923	4.2239	1.987	8.39		0.6	0.2117	0.8800	4.1568	3.835	15.94
	0.3	0.1568	0.5615	3.5810	2.257	8.08		0.7	0.1733	0.6678	3.8534	4.126	15.90
	0.4	0.0951	0.0310	0.3260	2.318	0.76		0.8	0.1419	0.4558	3.2121	4.361	14.01
	0.406	0.0923	0.0000	0.0000	0.000	0.00		0.9	0.1162	0.2438	2.0981	4.552	9.55
2	0.0	0.7028	2.1528	3.0632	0.000	0.00	1.0	0.0951	0.0310	0.3260	4.706	1.53	
	0.1	0.4711	1.7286	3.6693	1.375	5.04	1.015	0.0923	0.0000	0.0000	0.000	0.00	
	0.2	0.3158	1.3043	4.1301	2.215	9.15	0.0	0.7028	2.1528	3.0632	0.000	0.00	
	0.3	0.2117	0.8800	4.1568	2.709	11.26	0.1	0.6359	2.0468	3.2188	0.575	1.85	
	0.4	0.1419	0.4558	3.2121	2.983	9.58	0.2	0.5754	1.9408	3.3730	1.097	3.70	
	0.5	0.0951	0.0310	0.3260	3.118	1.02	0.3	0.5206	1.8346	3.5240	1.572	5.54	
8	0.508	0.0923	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.4	0.4711	1.7286	3.6693	2.003	7.35	
							0.5	0.4262	1.6223	3.8064	2.394	9.11	
							0.6	0.3857	1.5163	3.9313	2.750	10.81	
							0.7	0.3490	1.4103	4.0410	3.073	12.42	
							0.8	0.3158	1.3043	4.1301	3.367	13.90	
							0.9	0.2858	1.1985	4.1935	3.634	15.24	
							1.0	0.2586	1.0923	4.2239	3.877	16.38	
							1.1	0.2340	0.9863	4.2150	4.098	17.27	
							1.2	0.2117	0.8800	4.1568	4.299	17.87	
							1.3	0.1915	0.7738	4.0407	4.482	18.11	
4	0.0	0.7028	2.1528	3.0632	0.000	0.00	1.4	0.1733	0.6678	3.8534	4.649	17.92	
	0.1	0.5754	1.9408	3.3730	1.007	3.40	1.5	0.1568	0.5615	3.5810	4.801	17.19	
	0.2	0.4711	1.7286	3.6693	1.827	6.70	1.6	0.1419	0.4558	3.2121	4.940	15.87	
	0.3	0.3857	1.5163	3.9313	2.494	9.81	1.7	0.1284	0.3498	2.7243	5.066	13.80	

Notes: In the calculation of  $E_0/R$ , equation A-1 in table-1 is employed.

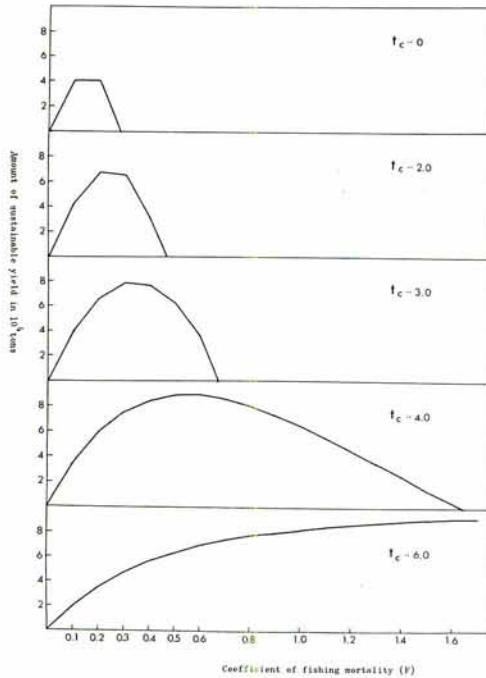


Fig. 11. Calculated sustainable yield curves of the Pacific bigeye illustrated by age of first capture ( $t_c$ )

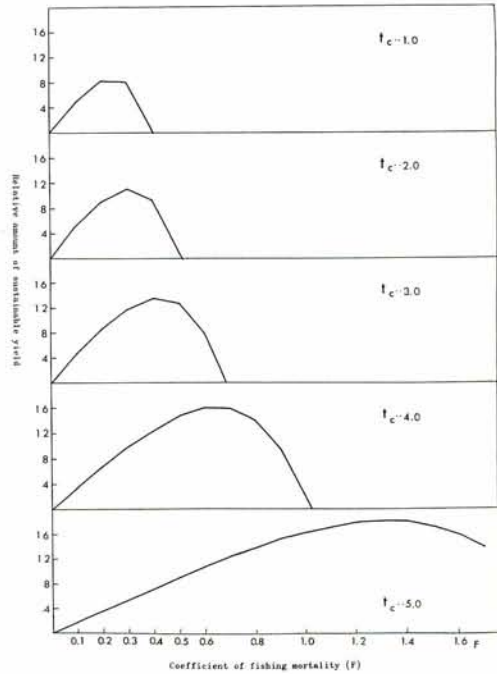


Fig. 12. Calculated sustainable yield curves of the North Pacific albacore illustrated by age of first capture

$Y/R$  がどう変るかを計算してみた。結果を第 7 表に示す。第 7 表には同時に  $E_0/R$  と  $E/R$  を等しくする  $E_0$  の値と、 $E_0$  のもとで期待し得る持続再生産量  $R$  をも示してある。同表の  $R$  と  $Y/R$  の積として計算した持続生産量を第 11 図に示す。 $t_c$  が小さすぎると、 $M, S, Y$  を実現させる  $F$  の値だけでなく  $M, S, Y$  の値自体も小さく、しかも  $M, S, Y$  を過ぎてからの持続生産量の減少が急激にあらわれる。 $t_c=0$  とすると、 $F=0.3$  ですでに資源の持続再生産が不可能になる。0.3 という  $F$  の値は 1963 年の太平洋のメバチについての推定値 (第 11 表) の  $1/3$  にすぎない。 $t_c$  の増大とともに  $M, S, Y$  自体の大きさや、 $M, S, Y$  に対応する  $F$  の値が増大するのがみとめられる。同時に  $F$  の大きさが  $M, S, Y$  に対応するレベルを超えてからの持続生産量の減少がゆるやかになり、 $t_c$  が 6 になるとすくなくとも  $F \leq 1.7$  の範囲では持続生産量曲線は単純な右上り曲線になる。

同様にビンナガ ([IV'] 式, [IX''] 式, たゞし成長曲線は BERTALANFFY 型) についての計算結果を第 8 表及び第 12 図に示す。こゝでも本質的にはメバチの場合と同じ傾向の変化をみることができる。

#### V-2: 瞬間加入のかわりに連続加入を考えた場合の持続生産量曲線

こゝではメバチを例に吟味を行なってみる。本種の場合、2 才から 5 才にかけての 4 ケ年間にわたって連続的に加入が行なわれる。須田・久米 (1967) の推定によれば、発生集団の 8% は 2 才、21% は 3 才、39% は 4 才、そして 32% は 5 才の初期に加入する。加入年令を  $T$  才として、

i) 親魚 1 尾当りの期待産卵数 (再生産能力)  $E$  は、

$$E/R = \sum_{T=2}^5 E_T/R$$

$$E_T/R = r_T \int_{t=0}^T e^{-Mt} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt + r_T \cdot e^{-MT} \int_{t=T}^{\infty} e^{-Z(t-T)} \cdot A_t \cdot B_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[XIII]}$$

$$Z = F + M$$

$r_T$  は  $T$  才初期に加入する魚群集団の 0 才当初における尾数の総加入尾数に対する割合

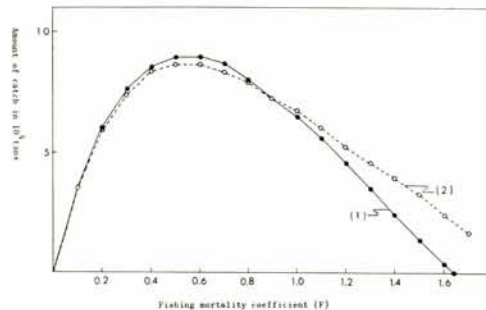
ii) 単位補充量当り漁獲量  $Y/R$  は

$$Y/R = \sum_{T=2}^5 r_T e^{-MT} \int_{t=T}^{\infty} F e^{-Z(t-T)} \cdot W_t \cdot dt \dots\dots\dots \text{[XIV]}$$

〔XIII〕式、〔XIV〕式を用いてみちびかれた  $E/R$ 、 $Y/R$ 、持続加入を実現させる  $E_0$ 、持続加入量  $R$  を第 9

**Table 9.** Calculation of sustainable yield of the Pacific bigeye under a supposition of sequential recruitment, where 8%, 21%, 39% and 32% of recruitment enter the fishery at beginning of II, III, IV and V ages respectively.

$F$	$E/R$	$E_0$	$R$	$Y/R$	$Y$
0.0	118869	123.2	1034	0.000	0
0.1	94510	106.0	1127	3.095	35
0.2	77153	90.8	1186	4.959	59
0.3	64544	77.8	1211	6.112	74
0.4	55207	66.5	1206	6.845	83
0.5	48161	56.8	1175	7.326	86
0.6	42749	48.6	1126	7.652	86
0.7	38519	41.5	1057	7.881	83
0.8	35160	35.5	982	8.047	79
0.9	32453	30.3	896	8.171	73
1.0	30239	25.5	808	8.267	67
1.1	28407	21.2	713	8.344	60
1.2	26871	17.5	620	8.408	52
1.3	25571	15.0	548	8.462	46
1.4	24460	12.5	470	8.508	40
1.5	23500	10.0	391	8.550	33
1.6	22666	7.0	281	8.587	24
1.7	21934	4.7	192	8.621	17



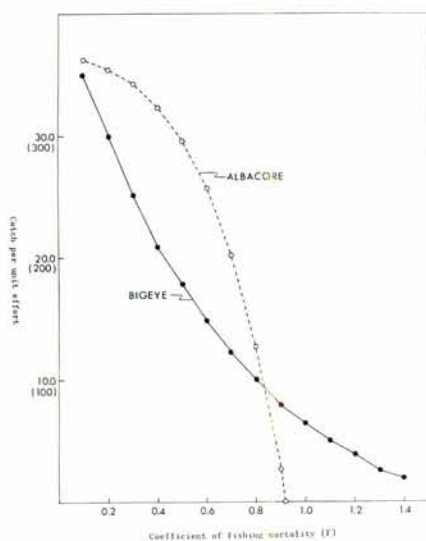
**Fig. 13.** Comparison of calculated sustainable yield curves of the Pacific bigeye between suppositions of immediate (curve-1) and sequential (curve-2) entrance to the fishery.

Notes;

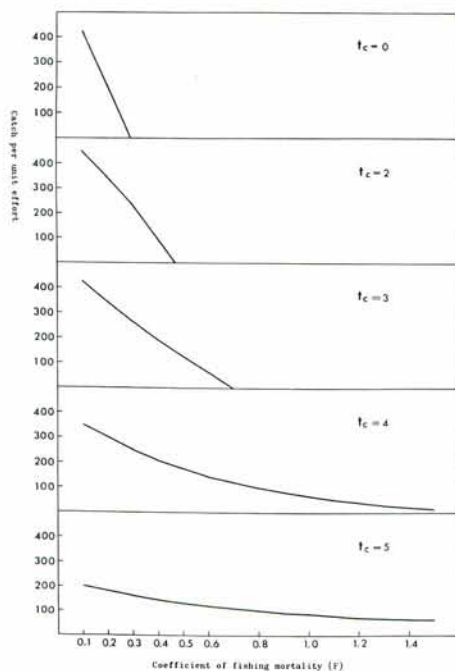
Curve-1...From upper panel of Fig. 9, Curve-2...From table-9

**Table 10.** Calculated catches per unit effort against various fishing mortality coefficients when a sustainable yield is realized under a supposition of immediate recruitment at  $t_c$

Albacore ( $t_c=3.8, M=0.2$ )			Bigeye ( $t_c=4.0, M=0.361$ )	
$F$	$C$	$CPUE$	$C$	$CPUE$
0.1	3.6	36.1	35	350
0.2	7.1	35.3	60	300
0.3	10.3	34.2	76	253
0.4	12.9	32.3	85	210
0.5	14.8	29.6	89	178
0.6	15.4	25.6	89	148
0.7	14.1	20.2	86	123
0.8	10.2	12.7	80	100
0.9	2.5	2.7	73	81
1.0			65	65
1.1			56	51
1.2			46	38
1.3			34	26
1.4			25	19
1.5			14	9



**Fig. 14.** Catches per unit effort of Bigeye and Albacore for various levels of fishing mortality coefficient supposing sustainable reproduction with conditions of parent stock sizes shown in Fig. 6, when age of first capture are 4.0 and 3.8 respectively



**Fig. 15.** Catches per unit effort of the Pacific bigeye which are expectable for various ages of first capture

表、持続生産量曲線を第 13 図に点線で示す。この図には、同時に比較のため IV 才初期に瞬間加入するという前提のもとに計算された持続生産量曲線を示してある。連続加入を想定した場合、持続生産量曲線は瞬間加入の時のそれよりもやや平坦になる傾向があるが、 $M, S, Y$  の値やそれを実現する  $F$  は殆んど変化しない。漁獲の条件……たとえば漁獲開始年令……が変った場合、両者の間のズレがどのように変わるか計算したわけではないが、このような複雑計算をわざわざ行なわなければならない理由は必ずしもなさそうである。

### V-3: 持続生産が実現した場合の単位努力当り漁獲量と漁獲死亡係数の関係

ここで単位努力当り漁獲量は  $Y/F$  として計算する。第 5 表及び第 6 表に示した持続生産量と  $F$  の関係を用いて計算した  $Y/F$  を第 10 表及び第 14 図に示す。ピンナガとメバチの間では著しく異なった傾向がみとめられる。漁獲開始年令に達する前に、すでににながしかの個体が産卵しているメバチと、漁獲をまぬがれた個体だけが産卵場に達するピンナガを比較すると、強大なまびきに対しては前者は後者より大きな再生産力を維持し、これが魚群量指数 ( $CPUE$ ) に反映される。逆に、この図によればメバチの単位努力当り漁獲量は  $F$  の値が小さい時でもピンナガのそれより著しく低下する。

漁獲物を構成する年令群の数は、メバチでは 7~8 ケに達するのに、ピンナガでは 3~4 ケと多少すくなく、小さな漁獲努力のもとでもメバチには漁獲による高年魚の減少がより効果的にあらわれて、ピンナガよりも早く魚群量が減少するものと思われる。メバチの場合でも  $t_0$  を小さくして加入前から産卵する個体数をへらすと  $CPUE$  曲線の形がピンナガのそれに近づいてゆくのが観察される (第 15 図)。

## 第 VI 章: 今後の問題点

この研究の目標は寿命が長く生活様式の分化の著しい魚種の持続生産を扱うために、再生産機能の発育段階による変化を反映できるようなモデルを設定することである。このような問題設定のもとでは必然的に発育段階毎の漁業生物学的情報が要求される。しかし、現実の問題として生活史の各過程についての情報は著しく不足している。この点を考慮して、まず、当初の目標設定からいえば最少限の——具体的には生活史を 2 つの過程に区分しただけの——モデルを組み立てたわけであるが、今後事情のゆるす限り生活史の過程を更に区分したモデル、換言すれば第 I 章で議論された生活形 (2) や (3) を扱うようなモデルにまで発展させたい。本章ではこのような観点から将来の問題点を指摘しておく。

(1) この研究では、既に述べたように、生物集団には密度依存的な自動制御作用があって、常にある密度水準に自己を維持しようとする働きがみられるということをも前提としている。こういう考え方は生物の変動を考える際にいつも議論をよぶものである。マグロについてもこのような考え方を適用することの是非については、いろいろ問題があるかもしれない。たゞ太平洋でのマグロ類の加入量変動をみると、その変動係数は比較的小さく、ピンナガ (北半球)、メバチの場合で約 50%、(須田 1962, SUDA 1962) キハダでは更に小さく 20% である (林 1966, 第 13 図から計算)。現在迄の観測範囲では、産卵親魚量自体のレベルの変化も比較的せいまい範囲にかぎられていたので更に継続した観察が必要ではあるが、これらの魚種では次の世代の再生産にあたって密度の自己調整作用が働いている可能性が強いように思われる。産卵場が非常に広く産卵期がきわめて長いために初期減耗期における危険分散が行われること、更に成長段階に達した後でも食餌の内容が変化にとみ (例えば渡辺 1958) 餌料変動に対する適応性が大きいと思われること等を考えると、きわめて強力な環境要因による抑制をうけたり、逆にそれから解放されるといったことがらのおこる機会はむしろ少ない筈である。したがって、環境要因の変動にともなう資源量の変動を否定するわけではないが、その影響をとくに大きく評価しなければならない理由は見出せない。逆にいえば、親子関係の研究は将来の資源管理においてより多くの関心が払わなければならない課題と考えられる。

(2) 仮りに密度依存的な親子関係を想定するにしてもそれがどういう形のものかといった示唆が得られる程、現在の観測が充実しているわけではない。ここで試みた RICKER 型の再生産関係を前提としたいくつかの計算の結果にしても単にそれを仮定した上での計算にすぎないということもできる。しかも、こういった批

判は再生産関係についてだけでなく、て世代内の生き残りについてもある程度あてはまる。このような現状を考慮して、本報では将来、現在のものにかわる新しい情報や考え方が容易に導入できるような形で、独立した 3 ケの要素  $E_0/R$ ,  $E/R$ ,  $Y/R$  を別々に計算し、その結果を組み合わせるといふ形の計算作業を組み立てた。

(3) こゝでの計算例が、どの程度実測値に近い値を与えるかということも興味のあることである。しかし、現実の問題として平衡漁獲量を実測することはできないので、実際の漁獲量とくらべる。ビンナガについては漁獲努力のレベルが過去十数年間殆んど変化していないのでメバチの方がこの目的には好都合である。メバチでは 1952 年以降、漁獲尾数と漁獲努力についての年々のデータが整備され、漁業が年とともに拡大していった経過が追跡できる。又、努力量の標準化や単位有効(標準)努力量の漁獲能( $q$ )率の推定も須田・

**Table 11.** Number of standardized hooks ( $f$ ), annual fishing mortality coefficient ( $F$ ) and actual amount of catch ( $C$ ) for the Pacific bigeye caught by Japanese longline fishery.

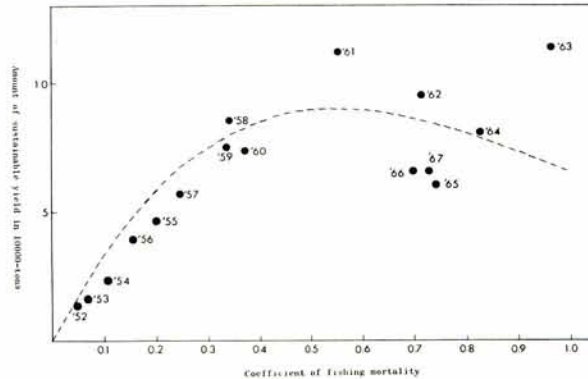
Year	$f(10^4\text{hooks})$	$F$	$C(10^2\text{ton})$
1952	1248	0.045	142
1953	1746	0.063	159
1954	2797	0.101	230
1955	5414	0.195	466
1956	4206	0.152	392
1957	6659	0.240	567
1958	9464	0.342	861
1959	9316	0.336	750
1960	10254	0.370	731
1961	15300	0.552	1113
1962	19741	0.713	942
1963	26675	0.963	1135
1964	22931	0.828	807
1965	20505	0.740	602
1966	19281	0.696	659
1967	20164	0.728	651

Notes;

$f$ : Calculated following SUDA and KUME (1967)

$F$ : Catch ability coefficient ( $q$ ) of  $10^8$  hooks is estimated at 0.361 by SUDA and KUME (1967)

久米(1967)によって一応行なわれている。これらの資料や手法を用いて算出した有効努力量( $f$ )、漁獲死亡係数( $F$ )並びに実際の漁獲量を第 11 表に示す。同時に第 16 図に漁獲死亡係数に対して実際の漁獲量をプロットしさらに今回計算した平衡漁獲量曲線(瞬間加入の場合)を重ねて示してある。この図によれば、計算された平衡漁獲量と、実際の漁獲量の合致はあまりよいとはいえない。とくに 1960 年以前の期間では実際の漁獲量が計算された平衡漁獲量より小さい方へずれているのが注目される。これは漁業の拡大期には実際の漁獲量は平衡漁獲量より大きくなるという一般的な予想に反することである。現在の段階では、このような不合理が漁業の初期における漁獲努力の推定の偏りに基づくのか、あるいはまた平衡漁獲量曲線の計算に用いた諸要因の偏りによるものか判定しがたい。しかし、このいづれについてもその可能性は充分考えられることであり、今後地道にこれらの点についての知識を蓄積してゆきたい。



**Fig. 16.** The calculated sustainable yield (dotted line) and the observed yearly catches of the Pacific bigeye Notes; Sustainable yield is calculated under the supposition of immediate recruitment at the beginning of IV-age

## 文 献

- 1) BEVERTON R. J. H., 1954: Notes on the Use of Theoretical Model in the Study of the Dynamics of Exploited Fish Populations, U. S. Fish. Lab., Beaufort, N. C., Misc. Contr. 2, pp. 159.
- 2) BEVERTON R. J. H. and S. J. HOLT, 1957: On the Dynamics of Exploited Fish Population, Fish. Invest., Ser. 2, 19, U. K., pp. 533.
- 3) 林 繁一, 1966: マグロ漁業に関するシムポジウム, 第2部, 資源, 重要資源の動向と現状, 3. キハダ, 4. ミナミマグロ, 日水会誌, 32(9), 767-778
- 4) HOLT S. J., GULLAND J. A., TAYLER C. and S. KURITA, 1959: A Standard Terminology and Notation for Fisheries Dynamics, 日水会誌, 25(3), 245-248
- 5) 木川昭二, 1966: 太平洋のマグロ延縄漁場におけるメバチ及びキハダ成熟魚の分布と, 海域別産卵可能量の考察, 南水研報, 23, 131-208
- 6) KUME S., 1967: Distribution and Migration of Bigeye Tuna in the Pacific Ocean, 南水研報, 25, 75-80
- 7) 栗田 晋, 1964: 数理資源学における標準述語及び記号について, 日水会誌, 30(11), 940-943
- 8) MARR J. C., 1955: On the Use of Terms, Abundance, Availability and Apparent Abundance in the Fisheries Biology, Copeia 2, (山中, 1961 より孫びき)
- 9) OTSU T., 1960: Albacore Migration and Growth in the North Pacific Ocean as Estimated from Tag Recoveries, Pacific Science, 14(3), 257-266.
- 10) RICKER W. E., 1954: Stock and Recruitment, Journ. Fish. Res. Bd. Canada, 11(5), 559-623.
- 11) ———, 1958: Handbook of Computation for Biological Statistics of Fish Population, Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 119, pp. 300.
- 12) SCHAEFER M. B., 1957: A Study of the Dynamics of the Fishery for Yellowfin Tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean, Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 2(6), 245-285.
- 13) SCHAEFER M. B. and R. J. H. BEVERTON, 1963: Fishery Dynamics—Their Analysis and Interpretation, The Sea 2, 464-483.
- 14) 須田 明, 1962: 北太平洋のビンナガの魚群構造とその漁況変動, 南水研報, 15, 1-37

- 15) SUDA A., 1962: Cate Variations in the North Pacific Albacore-III, Comparison of Abundance between Albacore and Bigeye in the North West Pacific. 南水研報, 15, 69-77
- 16) 須 田明, 1966-a: 北太平洋におけるビンナガの漁況変動 VI. 簡単な数学的モデルによる漁獲効果の検討(続報I)……前報のモデルの修正……南水研報, 24, 1-14
- 17) ———, 1966-b: マグロ漁業に関するシムポジューム, 第2部, 資源, 重要資源の動向と現状, 1. メバチ, 2. ビンナガ, 日水会誌, 32(9), 758-767
- 18) ———, 1966-c: 北太平洋におけるビンナガの漁況変動 VII. 持続生産量を推定するころみ, 南水研報, 24, 103-114
- 19) 須田 明・久米 漸, 1967: まぐろはえなわ漁業の漁獲物から推定された太平洋メバチの加入と生き残り, 南水研報, 25, 91-103
- 20) 須田 明・薬科侑生, 1961: ビンナガの研究 VI. 肥満度の取扱いと肥満度からみた北部太平洋漁場の竿釣り対象群と延縄対象群の比較(予報), 南水研報, 13, 21-34
- 21) 田中昌一, 1963: 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理, 東水研報, 28, 1-200
- 22) TOMPSON W. E. and F. H. BELL, 1934: Biological Statistics of the Pacific Halibut Fishery-(2), Effect of Change in Intensity upon Total Yield per Unit of Gear, Rep. Intern. Fish. Cnmm., 8, 1-49.
- 23) 渡辺久也, 1958: 西部太平洋赤道海域におけるキハダとメバチの食餌組成の相違について, 南水研報, 7, 72-81
- 24) WATT K. E. F., 1956: The Choice and Solution of Mathematical Models for Predicting and Maximizing the Yield of a Fishery, Journ. Fish. Res. Bd. Canada, 13, 613-645.
- 25) 山中一郎, 1961: 利用度の変化を考慮した水産資源の数学的模型に関する研究, 日水研報, 8, 1-94
- 26) 吉原友吉, 1952: 生残率と体長の関係を用いた Baranov の論文について, 日水会誌, 17(11), 363-366
- 27) ———, 1962: 水産資源の動態に関する数理的研究, 東京水産大, 特別研報, 5(1), 1-103
- 28) 行縄茂理・藪田洋一; 1963-a: ビンナガの成長と年令, 南水研報, 17, 111-120
- 29) ———, 1963-b: メバチの成長と年令, 南水研報, 19, 103-118