

大西洋のキハダ，ビンナガ資源の合理的 利用に関する一つの提案*

林 繁一・本間 操・鈴木治郎
(遠洋水産研究所)

A comment to rational utilization of yellowfin tuna and albacore stocks in the Atlantic Ocean

Sigeiti HAYASI, Misao HONMA and Ziro SUZUKI
(Far Seas Fisheries Research Laboratory)

In the Atlantic Ocean, there are several species of tunas including yellowfin and albacore exploited by two or more types of fisheries. And, several biologists calculated yield-per-recruit models expected for these fisheries (KAMIMURA *et al.* 1966, FAO 1968, HAYASI and KIKAWA 1970a, b, LENARZ 1971, ms, BEARDSLEY ms).

But it may be, at present, necessary to reconsider such situation of our researches that we have been involved too much in determining the "most efficient gears" on assumptions which are not yet based on indisputable evidence. Sharp decline of some species seems to require urgent actions toward fishery regulation. Especially, the rapid growth of modern fisheries causes a fear whether or not the exploited stocks can successively produce sufficient number of eggs to retain the size of recruitment.

Here we present :

- (1) rough but quick assessment of major stocks based on catch and effort data,
- (2) evaluation of possible effects of fisheries on number of eggs spawned by the exploited stocks, and,
- (3) evaluation of stocks due to change of two co-existing fisheries through examinations of yield-per-recruit and relative stock fecundity models.

1. Review of catch statistics

Effective effort and catch in number provide information to examine whether or not the recruitment is retained in the stock in question (Fig. 1). Fortunately, the ICCAT has collected these data for some fisheries, and, at least, catch data together with general information on amount of effort for the others. We examine these data of the two species under discussion for years from 1956 to 1969.

1. 1. Year-to-year fluctuation in catch.

Amount of catch shows different annual fluctuations among the two species (Table 1, Fig. 2). The fishing intensity on yellowfin tuna reached such a high level that further increase of effort depletes the amount of catch through either reduction of recruitment or heavy exploitation of small-sized fish. Expansion of longline fishery increases catch of albacore, while this is apparently accompanied by decrease of the surface catch.

* 昭和47年10月28日受理 遠洋水産研究所業績 第86号

1. 2. Relation of effective effort with density index and amount of catch in longline fishery.

SHIOHAMA (1971) presents amount of effective effort of Japanese longliners on three tuna species in the Atlantic Ocean. Recent catch statistics provide a clue to estimate the total amount of effective effort of this type of fishery therein (Table 2, Fig. 3).

The mean density index of yellowfin tuna lowers from 4 to 5 percent in 1956 and 1957 to about 1 percent in and after 1963. Even amount of catch decreases slightly in spite of increasing fishing effort until 1965. Decrease of fishing effort since 1966 did not result in appreciable recovery of the hook rate. Albacore index increases first, reaching 4 percent in 1958 to 1960, and then drops to about 2 percent in 1962 and onward. Nevertheless, the amount of catch fluctuates still together with amount of effective effort.

The species-dependent differences of annual fluctuations in density index and amount of catch may be attributed to,

- (1) that the longline fishery exploited the yellowfin tuna first, and then moved to fishing grounds of albacore, and later started to put their major efforts on other species, and,
- (2) that the surface catch of yellowfin tuna has rapidly increased since 1963 and then caused reduction of recruitment into the longline fishery, while the surface catch of albacore did not remarkably vary for the years under discussion (Fig. 2).

2. Examination of models

Two models are adopted in this study. One is the yield-per-recruit, Y , models of BEVERTON and HOLT (1957, p. 310) modified for a stock taken by two fisheries or changing its natural mortality coefficient depending on age.

$$Y = w_{\infty} \sum_{a=a(r)}^{a(q)} \frac{F_a \exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)}{Z_a} \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots\dots\dots(3)$$

where,

- w_{∞} = asymptotic body weight in kg,
- $a(r)$ or a_r = age of recruitment either to fishing or to spawners,
- $a(q)$ or a_q = maximum age of the stock,
- F_a = fishing mortality coefficient of a -age fish,
- Z_a = total mortality coefficient of a -age fish,
- $g(t)$ = length at t in cm, and,

$$\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt = \text{mean biomass of } a\text{-age fish.}$$

a term, $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)$, is defined to be 1 (one) for $a=a(r)^*$

The other model provides a relative stock fecundity, or $r. s. f.$, that is defined as :

$$r. s. f. = \frac{\text{(Number of eggs expected from a stable stock under a certain type of exploitation)}}{\text{(Number of eggs expected from an unexploited stock)}} \\ = \frac{\sum_{a=a(r)}^{a(q)} p_a \exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} dt}{\sum_{a=a(r)}^{a(q)} p_a \exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} M_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-M_a(t-a)\} dt} \dots\dots\dots(4)$$

* This definition applies to equations 3, 4, 11 and 12.

where,

p_a = average fecundity of a -age fish,

M_a = natural mortality coefficient of a -age fish, and,

$$cxp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} exp\{-Z_a(t-a)\} dt = \text{mean stock number of } a\text{-age fish.}$$

Both the two models are based on assumptions that growth and maturation are independent of density of the stock and of the environments, and that all the fish enter into and leave from the fishery at two instants of time. Further progress of ecology makes the models to be based on more realistic assumptions. Especially, the "knife-edge" recruitment model is not real, at least in yellowfin tuna fishery, as pointed out by ISHII (1967, 1969) and LENARZ (1971, ms). Their comment must be taken into consideration in future but not at present because ages of exploited phases of fisheries have still remarkably changed from year to year (Table 3).

3. Calculations on yellowfin tuna

3. 1. Basic information.

Two sets of growth curves are used. They are from YABUTA *et al.* (1960) and HENNEMUTH (1961a). Average number of eggs discharged by an individual is calculated on egg counts of individual fish and ratio of matured individuals in each age group in samples from longline fishery (Table 4) and surface fishery (Table 6). The individual fecundity of old members is probably overestimated in the longline samples, and underestimated in the surface samples.

A review of the Pacific stocks indicates that the natural mortality coefficient ranges between 0.3 and 1.0 (HAYASI and HONMA 1971). Here are used three additional values, 0.3, 0.6 and 1.0, as well as 0.8 which is still regarded the most probable.

Yellowfin tuna enter into exploitable phase and also to spawning group at the beginning of 1-age, and die at the end of 8-age. In the Atlantic Ocean, there are three types of fisheries, small purse seiners and livebait boats taking 1- to 3-age fish, large purse seiners 2- to 5-age fish, and longliners 3- to 8-age fish.

Previous studies indicate that the fishing coefficient on yellowfin tuna may not exceed 3 (Table 7). SUDA (1970) and HAYASI and KIKAWA (1970a) approximated the longline and surface fishing coefficients in 1966 as 1.2 and 0.55. Application of their techniques to the catch and effort data given in Tables 1 and 2 implies that the longline coefficient in 1969 was 2.1 and the surface coefficient in 1967 was 0.4. PIANET and LE HIR (1970) calculated the fishing coefficient of French surface fisheries being around 0.88 in 1970. Even though their basic assumptions must be examined, the fishing coefficient in 1970 is assumed about 2.0 for longline fishery and 1.0 for surface fisheries.

3. 2. Equations and results.

3. 2. 1. Equations.

Because exploited phases of two fisheries, S aiming at younger members and L at older members of the stock, overlap with each other, either one fishery depletes yield-per-recruit of the other. On the other hand, the constant value of M throughout the life span permits to pool several ages for a certain value of F .

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= w_\infty F_s \{e^{-M(a_{cs}-ar)} \cdot P(1) + e^{-\{M(a_{cl}-ar) + F_s(a_{cl}-a_{cs})\}} \cdot P(2)\} \\ Y_l &= w_\infty F_l \{e^{-\{M(a_{cl}-ar) + F_s(a_{cl}-a_{cs})\}} \cdot P(2) \\ &\quad + e^{-\{M(a_{ds}-ar+1) + F_s(a_{ds}-a_{cs}+1) + F_l(a_{ds}-a_{cl}+1)\}} \cdot P(3)\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

where,

F_s and F_l =mortality coefficients caused by S - and L -fisheries, respectively,
 a_{cs} and a_{cl} =ages of first capture in S - and L -fisheries, respectively,
 a_{ds} and a_{dl} =ages of emigration from S - and L -fisheries, respectively,
 $b = exp(kt_0)$ in BERTALANFFY's growth equation, and,

$P(i) = \int_{c_i}^{d_i} e^{-Z_i(t-c_i)}(1-be^{-kt})^3 dt$, and Z_i , C_i and d_i are defined as,

i	Z_i	c_i	d_i
1	$F_s + M$	a_{cs}	a_{cl}
2	$F_s + F_l + M$	a_{cl}	$a_{ds} + 1$
3	$F_l + M$	$a_{ds} + 1$	$a_{dl} + 1$

Egg abundance expected from an unexploited stock is

$$E_o = \frac{1-e^{-M}}{M} \sum_{a=a(r)}^{a(q)} p_a e^{-(a-1)M}$$

And, *r. s. f.* for each fishery is

$$\left. \begin{aligned} r(F, 1, 3) &= \frac{1}{E_o} \left[\frac{1-e^{-(F+M)}}{F+M} \sum_{a=1}^3 p_a e^{-\{(a-1)(F+M)\}} + \frac{1-e^{-M}}{M} \sum_{a=4}^8 p_a e^{-\{(a-1)M+3F\}} \right] \\ r(F, 2, 5) &= \frac{1}{E_o} \left[\frac{1-e^{-M}}{M} \left\{ p_1 + \sum_{a=6}^8 p_a e^{-\{(a-1)M+4F\}} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1-e^{-(F+M)}}{F+M} \sum_{a=2}^5 p_a e^{-\{(a-1)M+(a-2)F\}} \right] \\ r(F, 3, 8) &= \frac{1}{E_o} \left[\frac{1-e^{-M}}{M} \sum_{a=1}^2 p_a e^{-\{(a-1)M\}} + \frac{1-e^{-(F+M)}}{F+M} \sum_{a=3}^8 p_a e^{-\{(a-1)M+(a-3)F\}} \right] \end{aligned} \right\} (8)$$

These values exceed

$$r(\infty, a_c, a_d) = \frac{1}{E_o} \left\{ \frac{1-e^{-M}}{M} \sum_{a=a(r)}^{a(c)-1} p_a e^{-\{(a-a(r))M\}} \right\}$$

insofar as the the recruitment in the parent generation stayed at the average level.

As $a(p)$ and $a(q)$ are 1 and 8, respectively, two fisheries operating simultaneously deplete *r. s. f.* to

$$\left. \begin{aligned} r(F_s, F_l, a_{cs}, a_{cl}, a_{ds}, a_{dl}) &= \frac{1}{E_o} \left[\frac{1-e^{-M}}{M} \left\{ \sum_{a=1}^{a_{cs}-1} p_a e^{-\{(a-1)M\}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_{a=a_{dl}+1}^8 p_a e^{-\{(a-1)M+(a_{ds}-a_{cs}+1)F_s+(a_{dl}-a_{cl}+1)F_l\}} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1-e^{-(F_s+M)}}{F_s+M} \left\{ \sum_{a=a_{cs}}^{a_{cl}-1} p_a e^{-\{(a-1)M+(a-a_{cs})F_s\}} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1-e^{-(M+F_s+F_l)}}{M+F_s+F_l} \left\{ \sum_{a=a_{cl}}^{a_{ds}} p_a e^{-\{(a-1)M+(a-a_{cs})F_s+(a-a_{cl})F_l\}} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1-e^{-(M+F_l)}}{M+F_l} \left\{ \sum_{a=a_{ds}+1}^{a_{dl}} p_a e^{-\{(a-1)M+(a_{ds}-a_{cs}+1)F_s+(a-a_{cl})F_l\}} \right\} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(9)$$

3. 2. 2. Stock fecundity index by age in unexploited condition.

Contribution of each age group to production of eggs varies widely depending on natural mortality and on source for estimating maturation of fish. Generally speaking, the present model shows that relatively young members produce major portion of eggs. For instance, eggs spawned by 3-age and younger comprise almost or over half, and those by 1- and 2 age groups 20 to 43 percent, if natural mortality coefficient is 0,8 or 1,0 (Table 8).

3. 2. 3. Y/R and $r. s. f.$ expected for a single fishery.

Yield-per-recruit expected for a surface fishery aiming at 1- to 3-age fish is lower than that of either one of other two types of exploitation, unless the natural mortality coefficient is 1,0 and the average growth is represented by YABUTA *et al.*'s equation. There appears no significant difference of yield-per-recruit among two fisheries depending on either 2- to 5-age fish or 3- to 8-age fish as far as the natural mortality coefficient lies between 0,6 and 0,8. The surface yield aiming at younger members is smaller for natural mortality coefficient of 0,3, or larger for that coefficient of 1,0, than the longline yield (Fig. 5). Exploitation of younger members reduces more seriously the egg abundance than that of older members (Table 9).

3. 2. 4. Y/R and $r. s. f.$ expected for simultaneous exploitation by two fisheries aiming at 2- to 5-age fish and at 3- to 8-age fish.

Both Y/R and $r. s. f.$ react more sensitively to change of fishery aiming at younger members than to that of the older ones (Fig. 7). It should be also noted that increment of yield due to increase of fishing coefficient reduces very rapidly at levels near the contours given in Fig. 7, and then increase of fishing effort may cause sharp decline of catch-per-unit-effort (Fig. 5). The present levels of longline and surface fisheries, *i.e.* 2,0 and 1,0, respectively, appear to reach at such level of heavy exploitation.

4. Calculation on albacore

4. 1. Basic information.

Various estimates of albacore's growth curve do not remarkably differ with each other (Table 10, Fig. 8). Here are used two equations.

$l_t = 146,5(1 - 0,88e^{-0,15t})$ cm by YABUTA and YUKINAWA (1960) with modification by SUDA (1966 a), and,

$l_t = 118(1 - e^{-0,25t})$ cm by OTSU (1960).

It is assumed that all the fish enter into spawning group at the beginning of 6-age, that number of eggs discharged by a fish is proportional to cube of body length, and then that stock fecundity is proportional to the mean biomass of 6-age and older fish.

According to SUDA (1966 a) who surveyed the northwestern Pacific stocks, M appears below 0,4, probably 0,2 at immature stage up to 5-age and may increase by 0,2 every age at adult stage as 0,4 at 6-age, 0,6 at 7-age and so forth. BEARDSLEY (ms) also assumes the coefficient be between 0,22 and 0,38.

The fish enter into fishing grounds at the beginning of 2-age, and die at the end of 10-age. Here assumed three types of exploitation differing in age of exploited phases.

- (1) Surface fishery in eastern Pacific and eastern Atlantic for 2- to 4-age fish,
- (2) surface fishery in western Pacific and longline fishery in temperate waters for 4- and 5-age fish, and,

(3) longline fishery in equatorial waters for 6- to 10-age fish.

BEARDSLEY (ms) also assumes a similar set of exploited phases, 2- to 5-age, mainly 3- and 4-age, for surface fisheries in the Bay of Biscay, and 5-to 10-age for longline fishery in the whole Atlantic Ocean.

According to SUDA (1966 b), the fishing coefficient for the northwestern Pacific stocks appears less than 0.5. BEARDSLEY's data (ms) on total and natural mortality coefficients suggest a fishing coefficient around 1.0 for surface fishery in the Bay of Biscay, and around 0.4 to 0.6 for longline fishery.

4. 2. Equations and results.

4. 2. 1. Equations.

Distinct separation of exploited phases for immature and adult fisheries makes it possible to use original BEVERTON and HOLT's equation of Y/R , except that Y/R of adult fishery decreases to $\exp\{-F_s(a_{ds}-a_{cs}+1)\}$ with expansion of immature fishery.

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= w_{\infty} F_s e^{-M_I(a_{cs}-a_r)} \cdot P(1) \\ Y_l &= Y_l(F_s=0) \times \exp\{-F_s(a_{ds}-a_{cs}+1)\} \\ Y_l(F_s=0) &= w_{\infty} F_l \left[e^{-M_I(a_{cl}-a_r)} \cdot \sum_{a=a_{cl}}^{a-1} \exp\left\{F_l(a-a_{cl}) + \sum_{n=a_{cl}}^{a-1} M_n\right\} P(2) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

where,

M_I = natural mortality coefficient at immature stage,

M_a = natural mortality coefficient at a -age of adult stage, and,

$$P_i = \int_{c_i}^{d_i} e^{-Z_i(t-c_i)} (1-be^{-kt})^3 dt$$

in which Z_i , c_i and d_i are defined as,

i	Z_i	c_i	d_i
1	$F_s + M$	a_{cs}	$a_{ds} + 1$
2	$F_l + M_a$	a_{cl}	$a_{dl} + 1$

A ratio to adjust Y/R of adult fishery for exploitation of immature fishery, $\exp\{-F_s(a_{ds}-a_{cs}+1)\}$, also corresponds to $r.s.f.$ of stock exploited by only the immature fishery. Because of the distinct separation of exploited phases and age-dependent change of M , $r.s.f.$ for adult fishery becomes

$$\left. \begin{aligned} r.s.f.(F_l) &= r.s.f.(F_s=0, F_l) \cdot \exp\{-F_s(a_{ds}-a_{cs}+1)\}, \text{ and,} \\ r.s.f.(F_s=0, F_l) &= \sum_{a=6}^{10} \exp\left(-\sum_{n=6}^{a-1} Z_n\right) P(2) / \sum_{a=6}^{10} \exp\left(-\sum_{n=6}^{a-1} M_n\right) P(2, F_l=0) \end{aligned} \right\} \dots\dots(13-1)$$

4. 2. 2. Stock fecundity index by age in unexploited condition.

Both of the two growth equations give almost the same values of relative contribution of each age group for production of eggs. Fish of 6- to 8-ages produce slightly less than 90 percent of total eggs (Table 11).

4. 2. 3. Y/R and $r.s.f.$ expected for a single fishery.

Because the biomass of unexploited stock reaches the maximum at the end of 5-age, Y/R is larger for higher average age of first capture among two immature fisheries. In the adult fishery, increase of fishing effort does not result decrease of Y/R (Fig. 9).

The fishery aiming at immatures affects $r.s.f.$ more severely than that at adults. As far as

only the adults are exploited, *r. s. f.* retains at 35 percent for a fishing coefficient of 1, and still 20 percent for another coefficient of 2 (Table 12).

4. 2. 4. *Y/R* and *r. s. f.* expected for simultaneous exploitation by two fisheries aiming at immatures and adults.

If the fisheries expand so as to rise the fishing coefficient over 1.0, exploitation of adults is preferable because of higher values of *Y/R* and *r. s. f.* than those expected for immature fisheries (Fig. 10). It should be kept in mind that biomass of unexploited stocks reaches the maximum over 4.2 years, and then that not only *r. s. f.* but also *Y/R* shrinks severely if the average age of first capture reduces below 3 years.

5. Discussion and conclusions

5. 1. General.

The examination of catch statistics shows that fisheries decreased yellowfin tuna severely, and that decrease of albacore stock is not remarkable in the open sea but in the Bay of Biscay. The present estimates of growth and natural mortality coefficients of yellowfin tuna vary so widely as to forbid to determine effects of exploited phases on *Y/R*. On the other hand, *Y/R* of albacore expected for a particular exploited phase shows only little difference depending on parameters. Exploitation of adults inserts less effect on reduction of eggs than immature fishery in both yellowfin tuna and albacore.

5. 2. Conservation of yellowfin tuna.

Sharp decline of catch and hook rate of yellowfin tuna in longline fishery indicates it necessary to pay attention on size of recruitment not only into the fishery but also into the whole population. Even catch in surface fishery decreased in 1970 in spite of expansion of modern purse seine fleet, and this phenomenon stresses importance of consideration on reproduction.

It must be emphasized here that reproduction does not decrease in the very year when the fishing intensity exceeds the level to retain sufficient parent stock. The "time-lag" may fade the shrinkage of recruitment for the first few years, and then derives disastrous depletion of the population. In order to avoid such a danger, it is required to cease further rise of fishing coefficients for yellowfin tuna. If the "fixed coefficient" of surface fishery exploiting 1-age and older fish exceeds, unfortunately, the "threshold", abundance of eggs will be thinned out below the level for retaining the recruitment in two years later, and then, 1-age fish decrease appreciably three years later, because 3-age fish produce significant portion of the whole eggs. In other words, it is permitted to rise the fishing coefficient in the third year when no recognizable depletion appears in stock size of 1-age fish. Recent advance of investigations may provide information on recruitment earlier than as expected, and then, it is possible, if expansion is permitted, to curtail the period of "fixed fishing coefficient". It is well known that such a quick action is necessary for regulating modern fisheries (*e. g.* GULLAND 1971).

5. 3. Conservation of albacore.

Some authors suppose that longline fishery decreased stocks of surface fisheries (*e. g.* DAO 1971). Because surface fishery depends on younger members than the longline stock, however, the latter fishery could affect the former stock only through reducing size of recruitment to the whole population. Actual decrease of hook rate, about half of the initial level, does not appear

to indicate so serious reduction of parents as to reduce the reproduction. Further investigations are required to explain the relation between surface and longline stocks through compiling the longline data for each of two apparent local groups in northern and southern Atlantic.

は し が き

大西洋のキハダ、ビンナガ資源の管理に当たって漁業による加入当り漁獲量の違いに関する検討がさかんに行なわれてきた (FAO 1968 '林・木川 1970 a, b, LENARZ 1971, 未刊, BEARDSLAY 未刊)。たしかにいろいろな漁業が混在し、かつ、その一部を除いて詳細な漁獲統計がえられていなかった大西洋のマグロ資源を論じるに当たって、加入当り漁獲量の研究は一応の役割を果たしてきた。その反面、加入当り漁獲量を中心に進められてきた研究には3つの問題が次第に明白となってきた。

第1に現在までの模型が現実の漁獲量や漁獲努力量の変化に直結していない。とくに、模型計算に含まれる成長率、死亡率等の資源特性値の推定幅に論議が集中してきたが、それらの推定精度を高めるには多大の時間と労力を要するので研究が漁業の進展に立ち遅れてしまうという事態が起こりかねない。これを防ぐために模型の吟味と同時に漁獲統計の解析が必要となった。

第2に漁獲量は加入当り漁獲量と加入量との積であることに注意したい。現在までの模型では加入の維持についての考慮が欠けている。マグロ類ではたとえば RICKER (1954) のいう加入曲線はえられていないが^{*}、少くとも開発による産出卵数の減少については目安を立てる必要がある。

第3に現在までは主として、漁獲年齢にともなう加入当り漁獲量を計算し、その大小によって「効率の良い漁業」を決定しようとしてきた。しかし、個々の漁業の社会的な役割りは「一、二の魚種の加入当り漁獲量の大小」によって決定されるものではない。加入当り漁獲量の計算結果から、漁業の構成を変えられる訳でもない。むしろ、複数の漁業が存在する現状を前提として、それぞれの漁獲努力量の変化が加入当り漁獲量や産出卵数にあたる影響を予測して、予想される漁業の変化にともなう資源の動向を検討する方が現実的である。

ここでは第1の問題点に対応してまずキハダ、ビンナガの総漁獲量、およびはえなわ漁業が両種に投下した有効漁獲努力量の経年変化を検討した。ついで、第2の問題点として指摘した産出卵数に及ぼす間引きの影響を計算した。最後に2種の漁業が共存した場合に期待される加入当り漁獲量、産出卵数の相対値と漁獲係数との関係を求め、漁業を現状から変化させることによって生じるであろう資源の新しい動向を吟味した。これらの計算は理論的にも統計的にも十分に満足できるだけの裏付けをもったものではないが、それでも急激に増大しつつある漁業の管理方法について、単なる加入当り漁獲量の計算ではえられなかった示唆をあたえると思われる。

本研究を進めるに当たっては遠洋水産研究所浮魚資源部の各位、とくに、須田明部長、塩浜利夫技官からは貴重な助言と未公表資料とを頂いた。同所企画連絡室福田嘉男室長、長崎福三主任研官は原稿を丁寧に校閲した上で適切な批判を与えられた。また、山中一郎海洋部長にも討論に加わって頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

1. 漁獲統計の概観

漁獲努力量と漁獲量との相関は、少くとも強度に開発が進んでいる魚類の資源状態を評価するための基礎的な情報であり、マグロ類についても広く調べられている。漁獲量が尾数でえられている場合、もしくは各年級の生体量が最大になってから資源を利用している漁業の場合には、有効努力量と漁獲量との関係だけで加入が維持されているかどうかを判断できる。すなわち、「未開発のストックをある漁獲強度 f_a でひきつづいて開発すると漁獲量は次第に減少し、ついに図1に示した $RF/(F+M)$ で表わされる曲線上の f_a に対応する値

* 加入曲線がえられていないということは、本漁業が本質的な乱獲に陥っていないということでもある。研究面からはともかくとして、産業的にはこれはむしろ喜ばしい現象である。

C_a の周囲を変動するようになる。ここで R, F, M はそれぞれ加入量，漁獲係数，自然死亡係数である。つぎに，加入量を減らさない範囲で漁獲強度を f_b に増やすと漁獲量は増大する。漁獲強度をこの水準で固定すると漁獲量はまづ減少するが，ついに C_a より大きい C_b の周囲を変動するようになる。漁獲強度を f_b から f_c に減らすと，漁獲量は減少し，漁獲強度を f_c に固定すると漁獲量はふたたび増加するが，ついに C_b より小さい C_c に近づく。加入を減す程の強い強度 f_a で漁獲すると，漁獲量はまづ増大するが，その後は次第に減少し，ある値 C_a に低下する。このさい C_a は C_a, C_b, C_c より大きいとは限らない。生体量が最大になる年齢よりも若い時代から漁獲する漁業では，漁獲強度の増大が加入量を減らさなくても，漁獲量を低下させようことはよく知られているとおりである。

漁獲統計の不備から漁獲強度が求められないにしても，たとえば漁船数といった努力量の指標の増大に対して，漁獲量が減少している場合には，加入の低下，もしくは加入後の不適切な利用のおそれがある。情報が不十分なこのような場合には資源を維持するために一層慎重な態度をとるべきであろう。

ここでは大西洋でとられた日本はえなわ船の漁場別漁獲統計および日本を含むすべてのえなわ漁業の漁獲量統計を用いて漁獲強度と豊度および漁獲量との関係を吟味した。なお，大西洋のビンナガ個体群が南北2つのストックに分かれていることはほぼ確実であろうと思われるので，今後はここに示した方式を用いてストック別に検討したいと考えている。

1. 1. 漁獲量の経年変化

ICCAT の努力によって大西洋における漁獲量統計は次第に整備されつつある。ここでは同委員会の資料を中心に国別，漁業別漁獲量を整理した(表1)。それによるとキハダ，ビンナガとも総漁獲量は1960年以降比較的安定しているが，漁業別漁獲量は魚種によって異った経年変化をたどった(図2)。

(1) キハダ；1950年代後半に著しく増加し，1960年代には6～9万トンの範囲を変動してきた。漁業種類別に見ると，1960年代初めまでは，はえなわ漁獲量が5万トン前後，表層漁獲量は2万トン前後であったが，その後，表層漁獲量の増大とともにえなわ漁獲量は急減し，1966年以降は前者が後者より多くなった。

1963年以降の表層漁業の発達が，表層漁獲量の増大とはえなわへの加入量の減少をひき起こしたことはよく知られている(FAO 1968, 林・木川 1970 a, 林・本間 1969, 1971)。1970年には表層努力量の増大にもかかわらず，総漁獲量，表層漁獲量がいずれも減少したという事実にはとくに注意を払う必要がある(PIANET・

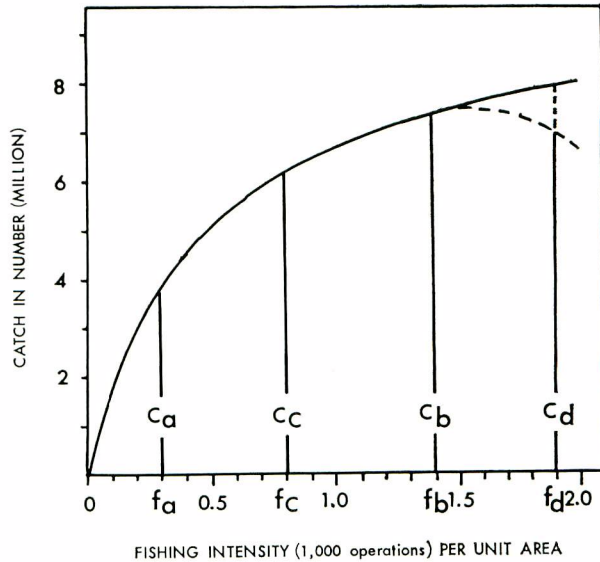


図1. 平衡状態における漁獲強度と漁獲尾数との模式的関係。点線は漁獲強度の増大による加入低下を示す。自然死亡係数，漁獲能率はそれぞれ 0.5, 0.001 と仮定してある。

Fig. 1. Schematic representation showing relation between fishing intensity and catch in number in equilibrium condition.

Dotted line denotes exceptional relation where the fishing intensity is so high as to deplete recruitment.

Natural mortality and catchability coefficients assumed as 0.5 and 0.001, respectively.

表 1. 大西洋のキハダ・ビンナガの漁獲量, 1956—1970年。

Table 1. Amount of yellowfin tuna and albacore in the Atlantic Ocean, 1956—1970.

Species	Year	Total	Longline fishery							
			Sub-total	Argentine	Brasil	China (Taiwan)	Cuba	Japan	Korea	Venezuela
Yellowfin tuna	1956	0.2	...	...	...	—	...	—	—	—*
	1957	14.1	13.8	...	...	—	...	13.2	—	0.6*
	1958	37.6	28.1	...	...	—	...	27.2	—	0.9*
	1959	55.4	45.7	...	...	—	...	44.1	—	1.6*
	1960	66.2	52.9	...	...	—	...	50.8	—	2.1*
	1961	59.9	44.6	...	...	—	...	42.6	—	2.0*
	1962	62.4	45.8	...	...	0.2	...	42.0	—	3.6*
	1963	71.5	43.0	0.1	...	0.4	1.7	37.7	—	3.1
	1964	67.8	38.3	0.1	...	0.3	0.9	35.1	—	1.9
	1965	62.9	39.4	0.1	...	0.1	0.8	36.6	—	1.8
	1966	60.3	25.9	0.0	...	0.9	0.8	22.1	—	2.1
	1967	54.7	20.3	0.1	...	2.3	3.0	12.8	—	2.1
	1968	73.5	26.0	0.2	...	6.8	1.9	13.9	2.0	1.2
	1969	94.7	25.5	0.1	...	10.0	1.6	9.8	2.4	1.6
1970	65.9	21.9	0.0	...	7.2	1.6	6.7	5.0	1.4	
Albacore	1956	14.9	0	...	...	—	...	...	—	...
	1957	40.6	0.9	...	...	—	...	0.9	—	...
	1958	50.6	2.0	...	...	—	...	2.0	—	...
	1959	53.2	3.6	...	...	—	...	3.6	—	...
	1960	74.8	9.8	...	...	—	...	9.8	—	...
	1961	51.1	9.3	...	...	—	...	9.3	—	...
	1962	71.1	22.1	...	...	0.0	...	22.1	—	...
	1963	77.0	33.6	1.5	2.4	0.0	...	29.7	—	...
	1964	91.3	43.0	1.5	1.4	0.1	...	39.5	0.5	...
	1965	94.7	45.4	1.1	0.6	0.1	...	42.6	1.0	...
	1966	74.4	35.0	0.8	0.4	0.2	...	26.9	6.7	...
	1967	80.3	26.0	0.7	0.7	1.8	...	12.5	10.3	...
	1968	71.1	33.8	1.3	0.7	8.7	...	15.2	7.3	0.6
	1969	65.8	31.5	0.4	...	11.5	...	11.0	7.8	0.8
1970	70.8	38.2	0.5	0.5	11.9	...	11.8	13.0	0.5	

脚注 (1) 各魚種の合計は1956—1962年については国別漁獲量の和, 1963—1970年については ICCAT (1971

(2) 国別漁獲量は, 星印のない数値のうち1956—1962年分は ICCAT (1971a), 1963—1970年分のうち

(3) 星印2つは暫定値。

(4) “—” は当該種に対する漁業がないことを示す。

(5) “...” はデータの無いことを示す。

Footnotes.

(1) Total catch for each of the two species is either sum of nation-wise catches for 1956—

(2) Nation-wise catch of yellowfin or albacore is cited either from ICCAT (1971a) for 1956—1962 single asterisc.

(3) Double asterisks denote that the relevant figure is provisional.

(4) “—” denotes that there is no fishery aiming at the species.

(5) “...” denotes no data available.

unit : 1,000 tons

Surface fisheries											
Sub-total	Canada	Côte d'Ivoire	France	Grenada (Spain)	Japan	Portugal (Angola)	Senegal	Spain	South Africa	Yugoslavia	U. S. A
0.2	...	...	—	...	—	...	—	...	—	...	0.2
14.1	...	...	—	...	—	...	—	...	—	...	0.3
9.5	...	...	9.2	...	—	...	—	0.0	—	...	0.3
9.7	...	...	9.6	...	—	...	—	...	—	...	0.1
13.3	...	...	13.3	...	—	...	—	...	—	...	...
15.3	...	...	12.6	...	—	...	—	0.0	—	...	...
16.6	...	...	14.2	...	1.2	...	—	2.7	—	...	0.0
28.5	—	—	21.8	...	0.9	4.4	—	1.2	—	...	0.2
29.5	—	—	21.4	...	2.6	4.5	—	0.9	—	...	0.1
23.5	0.0	—	16.8	...	2.4	2.8	—	1.5	—	...	—
34.4	0.6	—	18.8	...	5.3	2.4	1.3	6.0	—	...	—
34.4	0.7	—	20.8	...	6.5	1.6	1.0	2.8	—	...	1.0
47.5	0.7	—	26.5	...	7.9	1.6	0.7	4.0	—	...	6.1
69.2	0.9	—	36.6	...	6.7	1.0	0.5	5.3	—	...	18.2
44.0	0.2	0.5	20.5	...	2.3	0.1	3.5	5.3**	—	...	11.6
14.9	...	—	14.9	...	—	...	—	...	...	...	—
39.7	...	—	17.8	...	—	...	—	21.9	...	...	—
48.6	...	—	15.4	...	—	...	—	33.2	...	...	—
50.2	...	—	20.1	...	—	...	—	30.1	...	...	—
65.0	...	—	17.2	...	—	...	—	47.8	...	...	—
41.8	...	—	15.2	...	—	...	—	26.6	...	...	—
49.0	...	—	18.0	...	—	...	—	31.0	...	...	—
43.4	...	—	14.4	0.1	—	...	—	28.5	0.4	...	—
48.3	...	—	17.3	0.1	—	1.9	—	28.5	0.5	0.0	—
49.3	...	—	13.8	0.1	—	5.8	—	29.6	0.0	0.0	—
39.4	...	—	11.9	0.1	—	1.0	—	26.4	0.0	0.0	—
54.3	...	—	13.8	0.1	—	6.3	—	34.1	0.0	0.0	—
37.3	...	—	11.8	...	—	0.9	—	24.6	0.0	0.0	—
34.3	...	—	8.3	...	—	3.3	—	22.5	0.0	0.2	—
32.6	...	—	5.5	0.1	—	3.3	—	23.6**	...	0.1	—

b) から引用。

無印は ICCAT (1971b), 星印1つは林他 (1970) から引用。

1962, or cited from ICCAT (1971b) for 1963—1970.

—1962, or ICCAT (1971b) for 1963—1970 without asterisc, or from HAYASI *et al.* (1970), with a

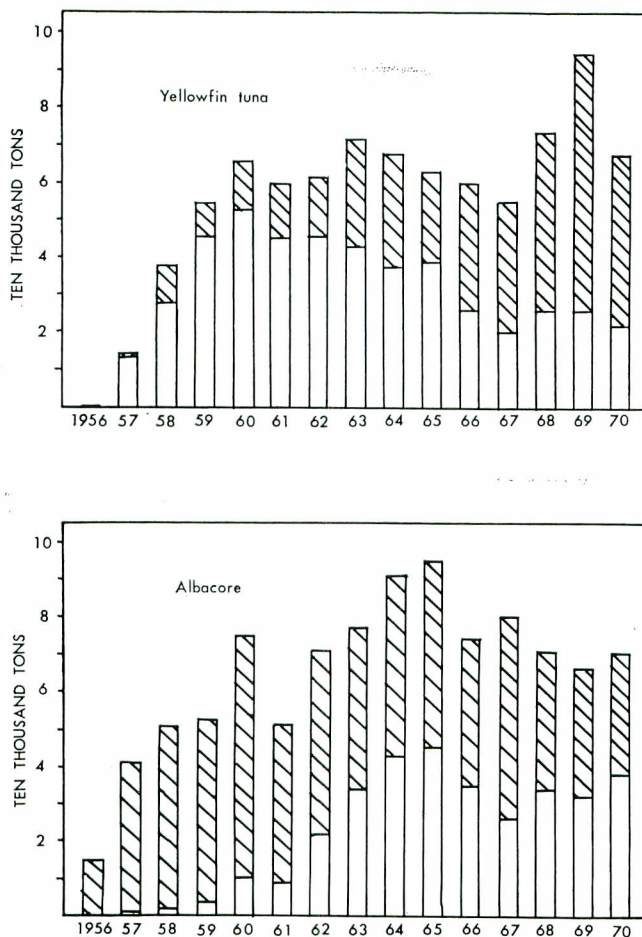


図 2. 大西洋のキハダ、ビンナガのはえなわ漁獲重量（白地）と表層漁獲重量（斜線），1957—1969年。
資料については表 1 の脚注を参照。

Fig. 2. Yields of yellowfin tuna and albacore by long-line fishery (open square) and surface fishery (shaded square) in the Atlantic Ocean, 1957-1969. See footnote of Table 1 for source of data.

LE HIR 1971, ICCAT 1971b)。

(2) ビンナガ；1950年代にはほとんど表層漁業のみによって5万トン前後の漁獲があげられていた。はえなわ漁業の進出は1960年代に入って本格的に始まり（塩浜他 1965, 塩浜 1971），それにとまって総漁獲量は7～9万トンに増加した。その一方で表層漁獲量は1968年以降3～4万トンに，総漁獲量は1965年の95,000トンを最後に減少していることに注意しておく必要がある。

1. 2. はえなわ漁業における努力量と平均密度指数および漁獲量との関係

塩浜（1971）は，1956～1968年における日本はえなわ船のキハダ・ビンナガ，メバチの漁獲尾数とそれぞれに対する有効努力量を計算している。キハダ，ビンナガの漁獲統計は近年急速に整備されたので，キハダ，ビンナガ漁獲物の平均体重が国によって異ならないと仮定して，式(1)に示すとおり同氏の努力量と日本以外のはえ

表 2 大西洋の日本のはえなわ漁業およびその統計から類推した全はえなわ船による漁獲尾数，漁獲重量および有効努力量，1956—1969年。

Table 2. Hook rate, catch in weight, and amount of effective effort of yellowfin tuna and albacore in the Japanese longline fishery, and catch and effort of the whole longline fleet based on the Japanese statistics in the Atlantic Ocean, 1956—1969.

Species of fish	Year	Hook rate in percent	Japanese fleet			Whole fleet		
			Catch in number of fish	Yield in 1,000 tons	Effort in 1,000 hooks	Cath in 1,000 fish	Yield in 1,000 tons	Effort in 1,000 hooks
Yellowfin tuna	1956	5.15	12,028	—	233	12	—	—
	1957	4.39	258,545	13.2	5,889	270	13.8	6,157
	1958	4.15	746,490	27.2	17,980	771	28.1	18,575
	1959	3.93	1,097,536	44.1	27,917	1,137	45.7	28,930
	1960	3.10	1,158,536	50.8	37,404	1,206	52.9	38,950
	1961	2.16	980,349	42.6	45,384	1,026	44.6	47,515
	1962	1.39	990,472	42.0	71,091	1,080	45.8	77,523
	1963	1.13	885,792	37.7	78,554	1,010	43.0	89,597
	1964	0.90	879,155	35.1	98,204	959	38.3	107,157
	1965	0.76	927,273	36.6	121,796	998	39.4	131,114
	1966	0.69	394,538	22.1	57,305	462	25.9	67,158
	1967	1.01	366,046	12.8	36,195	581	20.3	57,403
	1968	0.82	274,181	13.9	33,539	513	26.0	62,735
	1969	0.72	242,000	9.8	33,772	630	25.5	87,876
Albacore	1956	2.30	1,071	—	47	1	—	—
	1957	3.64	31,585	0.9	866	32	0.9	866
	1958	4.15	99,516	2.0	2,397	99	2.0	2,397
	1959	4.51	356,626	3.6	7,909	357	3.6	7,909
	1960	4.24	452,317	9.8	10,664	452	9.8	10,664
	1961	3.29	430,572	9.3	13,087	431	9.3	13,087
	1962	2.27	1,107,384	22.1	48,719	1,107	22.1	48,719
	1963	2.41	1,133,821	29.7	46,969	1,280	33.6	53,137
	1964	2.31	2,133,771	39.5	92,258	2,323	43.0	100,433
	1965	1.87	1,768,851	42.6	94,558	1,885	45.4	100,773
	1966	1.92	1,585,866	26.9	82,703	2,063	35.0	107,606
	1967	2.00	687,679	12.5	34,451	1,430	26.0	71,658
	1968	2.17	916,900	15.2	42,339	2,039	33.8	94,149
	1969	1.09	390,000	11.0	25,711	1,168	31.5	73,627

資料：

- (1) 釣獲率，日本の漁獲尾数，漁獲努力量は塩浜（1971）から引用，ただし，1969年については，この研究に際して塩浜が計算。
- (2) 漁獲重量については，表1の脚注を参照。

Source of data :

- (1) Hook rate, Japanese catch in number and Japanese effort are cited from SHIOHAMA (1971), except the numerals for 1969 which are calculated by him for the present study.
- (2) See footnote of Table 1 for source of yield.

なわ漁業を含めた漁獲量 Y とを用いて大西洋のはえなわ漁船全体による有効努力量を概算した。

$$X = X' \times \frac{Y}{Y'} \quad \dots\dots\dots(1)$$

X : ある年に大西洋で操業したはえなわ漁船全体のある魚種に対する有効努力量,
 X' : 塩浜 (1971) によるその年の日本船の有効努力量,
 Y' : その年の日本船の漁獲量。

また、有効努力量の場合と同様に、日本船の漁獲統計から、はえなわ船隊全体の漁獲尾数を計算した(式 2)。

$$C = C' \times \frac{Y}{Y'} \quad \dots\dots\dots(2)$$

C : ある年に大西洋で操業したはえなわ漁船全体によるある魚の漁獲尾数,
 C' : 同じ年における日本船によるその魚種の漁獲尾数。

これらの数値を用いて漁獲努力量に対する漁獲量の変化を検討した(表 2)。ただし、ここで計算の基準と

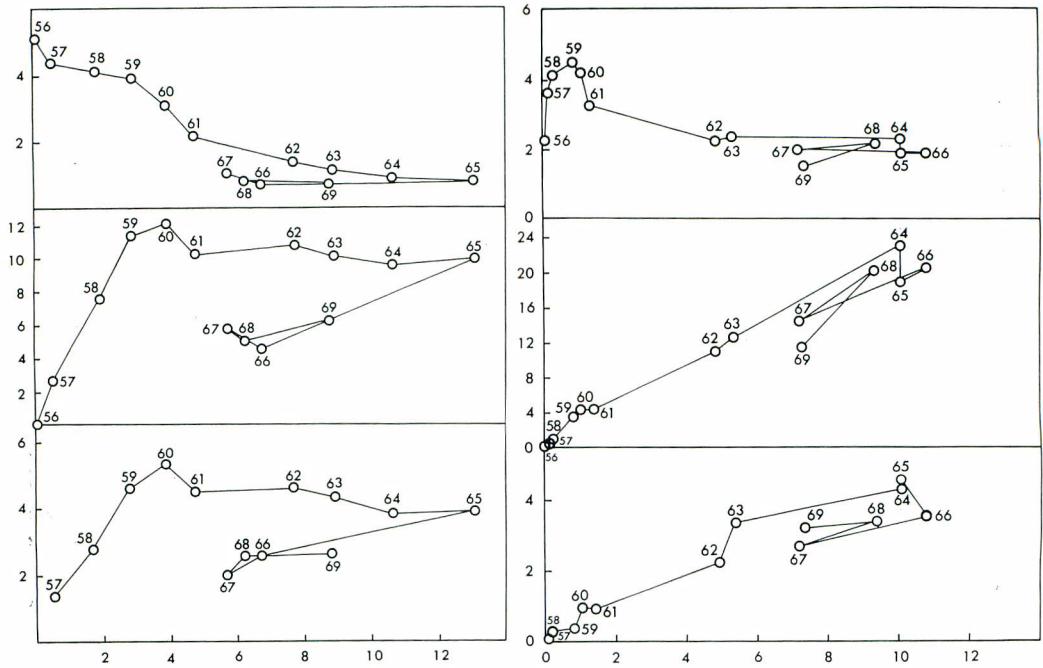


図 3. 大西洋のはえなわ漁業におけるキハダ(左欄), ピンナガ(右欄)の有効漁獲努力量(1千万本)と釣獲率(上枠, %)、漁獲尾数(中枠, 100万尾)漁獲重量(下枠, 1万トン)との関係, 1956—1969年。

林他 (1970), ICATT (1971 a, b), 塩浜 (1971) の資料による。
 漁獲努力量, 釣獲率, 漁獲尾数は漁獲時統計, 漁獲重量は水揚時統計。

Fig. 3. Hook rates in percent (upper panels), catch in million fish (middle panels) and yield in ten thousand tons (lower panels) of yellowfin tuna (left) and albacore (right) against effective effort in ten million hooks in the Atlantic longline fishery, 1956—1969.

Effort, catch and hook rate are compiled in time of catch, and yield in time of landing.

Data from HAYASI *et al.* (1970), ICCAT (1971 a, b) and SHIOHAMA (1971).

なった日本の統計のうち、漁獲努力量および漁獲尾数は漁獲時で集計されているが、漁獲重量のみは水揚時で集計されていることに注意する必要がある。そのため有効努力量に対する釣獲率および漁獲尾数の変化と、漁獲重量のそれとはよく似てはいるが細い点では一致していない。

年々の努力量に対して釣獲率、漁獲尾数、陸揚重量を図3にプロットした。キハダの場合には、1965年まで努力量増大にともなう釣獲率低減という一般的な関係と、その後、4年間にわたる努力量減少によって釣獲率は多少は回復したものの過去の水準には達しなかったという外部要因によるはえनाव漁業への加入の減少を示唆する関係とが認められる。過去の研究でも指摘されていたように1965年以前においても、努力量の増大にともなう漁獲尾数、漁獲重量の低減があったと推定されるので、この時代から、すでにはえनावストックへの加入は次第に低下しつつあったと考えて良い。なお、1966、1967年における努力量の減少にともなう釣獲率の多少の増加が漁獲重量のみでは反映されていないけれども、これは多分水揚時集計という統計収集方式の偏りに基づくものであろう。

大西洋全体をこみにしたビンナガの釣獲率は1958~1960年に4%に達したのち1962年以降2%前後に半減しているが、1969年を除いて大きな変化はなく漁獲量も努力量に応じて増減している。ただし、1969年における釣獲率、漁獲尾数の低下が一時的な減少か否かについては今後検討する必要がある。なお、ビンナガにおいても水揚時集計である漁獲重量は、漁獲尾数とは若干異った経年変化を示す。とくに、1969年には前年に比べて努力量は20%以上も減少したのに漁獲重量はほとんど減少していないが、これは1968年、とくに、その後半の漁獲量増加によるものであろう。

はえनाव漁業におけるキハダの密度指数(平均釣獲率)の顕著な低下および有効努力量の増加に対する漁獲量の増大停止または減少の原因は、すでに、指摘されている通り、1963年以降に見られた表層漁獲量の急激な増加による加入低下である。これに対して、ビンナガでは、はえनाव漁業が進出したときには、すでに、ビスケー湾の表層漁業が存在していたし、しかも、その後同湾での努力量の激増や、他の海域における表層漁業の顕著な発達がなく、しかも、現存する全ての漁業は加入を減らす程強くはないので、はえनाव釣獲率には顕著な減少がみられなかったと考えて良さそうである。

2. 漁獲年齢を異にする2種の漁業の加入当り漁獲量および産出卵数にあたる影響を見積る模型

2.1. 方法の概要

2つの漁業 L, S があり L は a_{cl} 才から a_{dl} 才まで、 S は a_{cs} 才から a_{ds} 才までを漁獲する。ここで $a_{cs} < a_{cl}$ 、 $a_{ds} < a_{dl}$ である。そうすると BEVERTON-HOLT (1957, p. 301) の加入当り漁獲量を計算する際に漁獲係数が年齢によって3段階に変わることになる。

大西洋のマグロ類の加入量と親魚資源量との関係は判っていない。しかし、もし年齢別の個体当り産出卵数が相対的にでも知られていれば、漁獲が産出卵数にあたる影響を検討する手がかりがえられる。そして、たとえば自然時の5%の産出卵数しか維持できないといった事態が予想されれば、漁業活動の増大を少くとも一時的に抑制する必要があるといった判断が可能となろう。また、加入を減らすおそれを避けながら、漁獲量を維持または増大させる方策についても判断の規準がえられよう。

2.2. 基本的な仮定と定義

(1) 成長、成熟の早さや年齢ごとの自然死亡率は、環境およびストックの密度に依存せず一定であると仮定する。

(2) 各々の漁業においてすべての個体がある年齢の初めに一時に加入し、他のある年齢を終わると一時に逸散する。

これら2つの仮定は今後の研究の進展にもなって修正されねばならない。とくに、漁獲年齢については石井(1967, 1969)、LENARTZ(1971, ms)が主張するように逐次加入を考えた方が良いが、たとえば、表層漁業によるキハダの漁獲年齢が年によって大きく変わっていることを考えると(表3)、この仮定の修正は各々の漁業の漁獲年齢が安定するまで待たれた方が良さそうである。本報告におけるポピュレーション・ダイナミク

表 3. 大西洋の表層漁業におけるキハダの年令別単位努力当り漁獲量。

Table 3. Estimates of catches-per-unit-effort of yellowfin tuna in Atlantic surface fisheries

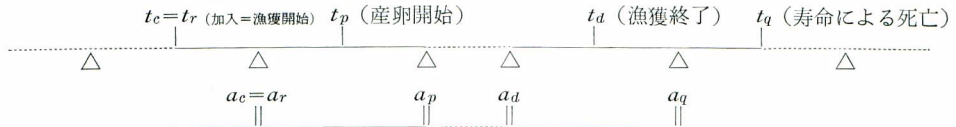
Fishery	Age	1967	1968	1969	1970	Source of data
U. S. seiners (numbers-per-day-fishery)		漁獲日当りの尾数 numbers-per-day-fishery				
	0	—	—	2.5	11.2	LENARTZ (1971)
	1	—	366.3	18.2	244.6	
	2	—	138.1	101.6	26.6	
	3	—	197.8	100.6	20.2	
	4	—	137.6	64.6	14.8	
	5	—	31.6	10.0	8.2	
6	—	0.9	—	0.2		
Pointe-Noire bait boats (mean of monthly numbers-per-day)		月別1日当り漁獲尾数の平均 mean of monthly numbers-per-day				
	1	155	257	100	457	PIANET and LE HIR cited in ICCAT (1971 b)
	2	117	23	40	5	
	3	6	8	2	—	
	4 +	27	38	6	—	
Pointe-Noire purse seiners (mean of monthly numbers-per-day)		月別1日当り漁獲尾数の平均 mean of monthly numbers-per-day				
	1	55	76	51	74	PIANET and LE HIR cited in ICCAT (1971 b)
	2	125	5	69	3	
	3	14	22	11	10	
	4 +	5	63	34	30	

クスの用語と記号は原則として HOLT 他 (1959) および栗田 (1964) によった。

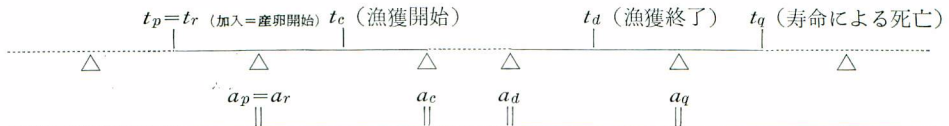
2. 3. 時間と年齢の記述

通例の加入当り漁獲量の研究では魚がとられうようになった年齢、つまり加入年齢、および実際に漁獲される年齢および漁獲終了年齢を考えれば良い (たとえば BEVERTON・HOLT 1957, p. 28)。しかし、もし魚が漁場へ加入する前に産卵する場合には通例の加入年齢より前の産卵しうる状態に達した年齢からのストックの変動を考えねばならない。そこで、生活史のうちで漁獲対象となりうるか、産卵しうる状態に達した時刻のうち早い方を t_r 、産卵開始の方がおそい場合には産卵が始まる時刻を t_p 、漁獲開始の方がおそい場合にはその時刻を t_c 、漁獲終了時刻を t_d 、すべての個体が死亡する時刻を t_q とする。ここでは t_r 、 t_p 、 t_c 、 t_d 、 t_q はそれらを含む年齢 a_r 、 a_p 、 a_c 、 a_d 、 a_q の始まりに一致すると仮定した。一般的な時刻と年齢との関係を図示すると次のとおりである。

産卵が始まる前から獲りは始める漁業の場合



産卵が始まってから獲りは始める漁業の場合



△は年の変わり目を示す。

2. 4. 加入当り漁獲量の定義

BEVERTON・HOLT (1957) は，死亡係数がある年齢範囲で一定という仮定の下で，加入当り漁獲量を計算している。ここでは自然死亡係数，漁獲係数がいずれも年齢によって変わることを前提とするのでその加入当り漁獲量 Y は

$$Y = w_{\infty} \sum_{a=a(r)}^{a(q)} \frac{F_a \exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)}{Z_a} \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots\dots\dots(3)$$

となる。

ここで

- w_{∞} : 極限体重 (kg),
- F_a : 問題となっている漁業の a 才魚に対する漁獲係数,
- Z_a : a 才魚の全死亡係数,
- $g(t)$: 時刻 t における体長 (cm),
- $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt$: a 才における平均資源重量,

なお $a=a(r)$ の場合の $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) = 1$ とおく*。

2. 5. 相対産出卵数の定義

漁業が加入に与える影響をストックの産卵数の低下から検討する。その規準として，式4に定義するストックの相対産出卵数 $r. s. f.$ (relative stock fecundity) を用いる。

$$r. s. f. = \frac{\text{(ある漁業で長年にわたって開発されているストックから産み出されるはずの卵の数)}}{\text{(全く漁獲されていないストックから産み出されるはずの卵の数)}} \\ = \frac{\sum_{a=a(p)}^{a(q)} p_a \exp\left(-\sum_{n=a(q)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a-1} \exp\{-Z_a(t-a)\} dt}{\sum_{a=a(p)}^{a(q)} p_a \exp\left(-\sum_{n=a(p)}^{a-1} M_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-M_a(t-a)\} dt} \dots\dots\dots(4)$$

- p_a : a 才魚の個体当り産卵数,
- M_a : a 才における自然死亡係数,

$\exp\left(-\sum_{n=a(p)}^{a(q)} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} dt$: a 才における平均資源尾数, Z を M にすると全く漁獲がない場合の a 才における平均資源尾数となる。 $\exp\left(-\sum_{n=a(p)}^{a-1} M_n\right)$ は $a=a(p)$ ならば1とおく(式3の脚注参照)

* 式3は各年齢群の漁期初めの尾数 $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)$ ，それぞれの平均資源量指数を示す積分部分 $\int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt$ ，死亡個体中の漁獲されるものの割合 F_a/Z_a ，ならびに体重に関する比例常数 w_{∞} よりなっている。漁獲開始 (a 才) 以後の Z_a が年齢によらず一定 (Z) であれば $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)$ は $\exp\{a-a(c)\} Z$ ，積分の範囲は $a(c)$ から $a(d)+1$ までとることになり，式3はよく知られている単純な形をとる。これに対して， Z_a が年齢によって変わるとすると，加入年齢 $a(r)$ 才初期における資源尾数 $N_{a(r)}$ を1となるので式3は $a(r)$ 才における漁獲量

$$\frac{w_{\infty} F_a(r)}{Z_a(r)} \int_{a(r)}^{a(r)+1} \exp\{-Z_a(r)(t-a(r))\} \{g(t)\}^3 dt$$

と $a(r)$ 才以降における各年齢の漁獲量

$$\frac{w_{\infty} F_a}{Z_a} \exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt$$

との和になる。しかし，これに類似した式を常に $a(r)$ 才 (または $a(p)$ 才， $a(c)$ 才) に対応する部分と，それ以外との部分とに分けて書いては複雑なので本報告の式3，4，11，12では上述のように $\exp\left(-\sum_{n=a(r)}^{a-1} Z_n\right)$ は $a=a(r)$ の場合1となるときめておく。

3. キハダの加入当り漁獲量とストック相対産出卵数

3.1. 必要な資料

3.1.1. 成長

これまでに発表された論文ではキハダの成長は主に BERTALANFFY の式で表わされている。2つの成長パラメーター、成長係数 k と極限体長 l_{∞} の推定値についてみると、太平洋のキハダでは、大きく分けて $k=0.3$, $l_{\infty}=190$ cm という1群のもの $k=0.6$, $l_{\infty}=160$ cm の1群とがあり、前者は鱗にあらわれる輪紋の解析、後者は体長組成の解析によって得られた推定値である(鈴木 1971)。大西洋のキハダについては揚他(1969)が鱗を、LE GUEN・CHAMPAGNAT(1968)が体長組成を用いて調べている。揚他の結果は $k=0.27$, $l_{\infty}=222.8$ cm, LEGUEN・CHAMPAGNAT のそれは $k=0.43\sim 0.56$, $l_{\infty}=165\sim 180$ cm で太平洋の場合と同様の査定方法による推定値の相違がみとめられる。もっとも、成長係数の変異にもかかわらず、主産卵群であり、かつ、主漁獲物である2~5才魚の年齢別体長推定値は研究者の間で大きく異なっているとはいえない(FAO 1968, 鈴木 1971)。

加入当り漁獲量の計算値に対して成長係数 k が大きな影響をあたえるが、現在えられている成長式の何れが正しいとも断定しにくい。したがって、ここでは相互に大きく異なる2つの成長式を用いた。その1つは、はえなわ漁獲物の検鱗に基づく藪田他(1960)の輪群別平均体長から本間他(1971)が計算したもの(式5-1)、他の1つは表層漁獲物の体長組成を HENNEMUTH(1960 a)が解析して得た結果である(式5-2)。

$$l_t = 190(1 - e^{-0.30kt}) \dots\dots\dots (5-1)$$

$$l_t = 169(1 - 1.64e^{-0.60kt}) \dots\dots\dots (5-2)$$

l_t : 発生後の時刻 t における体長、時間および体長の単位はそれぞれ年および cm。

3.1.2. 成熟

はえなわの対象となる太平洋のキハダの成熟と卵巣内卵数については木川(1966)による総括的な研究がある。同氏の資料を用いて、林・本間(1971)は藪田らの成長式(上出式5-1)による年齢別の個体当り平均産卵数の指数 p_a を求めている(表4)。小型の個体や水子となるほど成熟が進んだ個体は、はえなわでは、

表4. 太平洋のはえなわ漁業で漁獲されるキハダの平均産出卵数指数。

Table 4. Index of average fecundity of yellowfin tuna in the Pacific longline fishery.

Age	Mean body length in cm ¹⁾	Mean ovum counts in million ²⁾	Average ratio of matured fish in percent ²⁾	Fecundity index
1	74.2	0.69	5.7	0.04
2	106.7	1.58	20.1	0.29
3	130.1	3.42	31.5	1.00
4	147.0	5.29	47.3	2.32
5	159.0	6.91	52.6	3.37
6	167.8	8.32	52.6	4.06
7	174.0	9.36	52.6	4.57
8	178.5	10.27	52.6	5.01

1) 藪田他(1960)の資料から本間他(1971)が計算した生後1.5, 2.5, ……年における体長。

1) Body length at 1.5, 2.5, …… years after birth calculated by HONMA *et al.* (1971) from data of YABUTA *et al.* (1960).

2) 個体当り産卵数および群成熟度は木川(1966)から計算。

2) Mean ovum counts and ratio of matured fish are based on data presented by KIKAWA (1966).

とられにくいので(上村・本間 1963, 木川 1966, 森 1970, 本間・久田 1971), 表4の年齢別個体当たり平均産卵数ははえなわ漁業に固有な選択性の影響を受けているであろう。

表層漁業対象ストックの成熟に関するもっとも充実した情報は、東部赤道太平洋の竿釣漁獲物に関するORANGE (1961), JOSEPH (1963)らの研究によってえられている。ORANGEによれば、とくに重要な産卵場は Revilla Gijedo 諸島(海域II), メキシコ南部(海域III), パナマ沿岸(海域VI)である(図4)。とこ

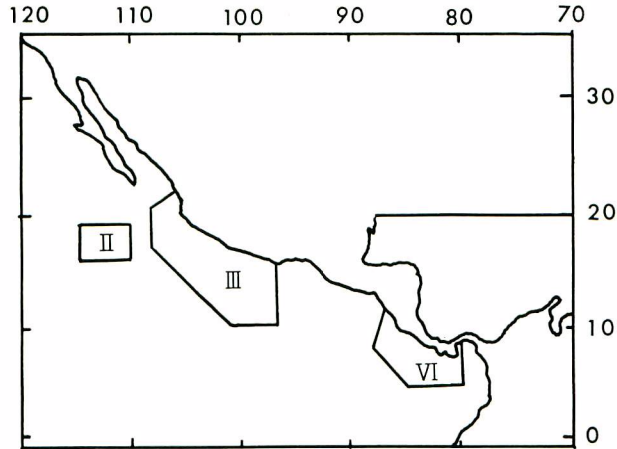


図4. 東部熱帯太平洋のキハダの主産卵海域。

- II リベリヤセヘッド島
- III メキシコ南部
- VI パナマ西岸

ORANGE (1961) による。

Fig. 4. Major spawning areas of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific.

II : Revilla Gijedo Islands.

III : Southern Mexico.

VI : West coast of Panama.

After ORANGE (1961).

ろで産卵期や、最小成熟体長等はこれらの海域の間で異っている。Revilla Gijedo 諸島附近における主産卵群は体長 120 cm 以上、少なくとも体長範囲の下限が 80 cm 以上という表層漁業対象ストックとしては比較的大型の魚であり、産卵期も第3四半期に限られるようである。これに対してメキシコ南部沿岸では 50 cm のものでも全体の20%が成熟しており、産卵期もほぼ周年にわたる。パナマ沿岸でも初成熟体長は 80 cm未未満で比較的小さいが産卵活動の季節変化は顕著である(表5)。

ORANGE の報告から表層漁業対象ストックの年齢別群成熟度に関して、つぎの推論が引出せる。

(1) 東部太平洋のなかでも、初成熟体長は海域によってかなり変化し、Revilla Gijedo 諸島附近では 80~90 cm 級でも成熟個体は28%が限度であるが、逆にメキシコ南部では 50 cm 級でも20%が成熟している。

(2) 群成熟度の季節変化の型は、体長によって異なる。たとえば、パナマ沿岸(海域VI)における群成熟度についてみると、第1四半期には体長による差はなく、100 cm 以上の大型魚でもそれ以下の小型魚でもほぼ 65%であるが、その他の季節では大型魚での群成熟度は45~50%で、小型魚の17~30%よりもかなり高い。100 cm未未満の群成熟度が低いことは Revilla Gijedo 諸島海域はもちろんメキシコ南部からの資料でも示唆される。

表 5. 東部太平洋の表層漁業で漁獲されるキハダの四半期別, 体長級別群成熟度。
Table 5. Percentage of yellowfin tuna with maturing ovaries by quarter and by size groups in the eastern Pacific surface fishery.

Size (mm)	Quarter				Mean
	1	2	3	4	
	Revilla Gijedo Isls. (Area II)				
800— 999	0.0	5.1	27.8	2.1	8.7
1000—1199	0.6	6.8	52.9	8.1	17.1
1200—1399	4.8	11.3	74.2	6.5	24.2
1400 and longer	9.7	30.8	94.0	0.0	33.7
	Southern Mexico (Area III)				
700— 899	41.8	59.6	82.9	63.9	62.1
900—1099	54.0	85.1	73.5	61.8	68.6
1100—1299	44.4	100.0	87.5	80.0	78.0
1300 and longer	...2)	85.7	100.0 ¹⁾	...2)	...3)
	Panama (Area VI)				
700— 899	63.9	24.6	10.7	18.6	29.5
900—1099	61.3	46.1	32.6	35.7	43.9
1100—1299	66.7	55.2	84.6	38.9	61.3
1300 and longer	68.7	75.0	100.0 ¹⁾	77.8	80.4

- (注) 1) 4尾未満の雌による。
 Less than four females in size class.
- 2) 雌の資料なし。
 No females in the size class.
- 3) 全四半期にわたる資料がえられなかった。
 All quarters not represented.
- ORANGE (1961) による。
 After Orange (1961).

表層漁業対象ストックにおける生物学的最小形をもっとも小さく見積りメキシコからの標本で代表されるように 50 cm, そのときの群成熟度を20%と仮定する。また, 産卵期が長い四半期別群成熟度はどの体長階級でも100%にはならないが 100 cm に達すると全ての個体がそれより大きい個体と同じように成熟するよう見えるので群成熟度は 100 cm で100%に達すると見做す。50 cm から 100 cm にかけて成熟個体の割合が体長にともなって直線的に高まり, 体長別群成熟度 f_l は,

$$f_l = 0, \quad l < 50 \text{ cm},$$

$$f_l = 0.2 + \frac{1.0 - 0.2}{100 - 50}(l - 50) = 0.016l - 0.6, \quad 50 \text{ cm} \leq l < 100 \text{ cm},$$

$$f_l = 1.0, \quad l \geq 100 \text{ cm} \quad \text{で表わす。}$$

HENNEMUTH (1961 a) が求めた年齢別体長および上式を用いて1才における平均群成熟度 f_l をつぎのように概算した。計算上の発生時 t_0 の大きい同氏の式によると1才初めの体長は13cmであるから0才魚の群成熟度は0である。1才魚時代の産卵についてみると 50 cm に達したとき, つまり生後1.41年からはじまり2才になるまでの0.59年間継続することになる。2才初め体長にして 83 cm での群成熟度は0.728であるから, 1才魚として卵を産む0.59年間の平均成熟度が 50 cm における0.2と 80 cm での0.728の中央値, $(0.2 + 0.728)/2 = 0.464$ で近似されるとして, 1才における平均成熟度を成熟している期間0.59年とその間における平均群成熟度, 0.464 の積, 0.27 と置く。同様にして2才における群成熟度は2才始めから 100 cm に達す

る時，2.30才までの期間，0.3年とその間の群成熟度中央値 $(0.728+1)/2=0.864$ との積0.26 とその後の0.7年間に於ける群成熟度1との積0.7との和0.96となる。3才初めの体長は100 cmをこえているので3才以上の平均群成熟度はすべて1である。

一方，JOSEPH (1963) が示した体長 (l) と卵数 (y) との関係式を体長の単位を cm と改め，

$$y = 5.53419 l^{2.791} \times 10^{-6}$$

で表し，それを各年齢区間毎に平均して年齢別個体当り産卵数 y_a を求めた (式6)。

$$y_a = \frac{5.53419 \times 10^{-6}}{l_{a+1} - l_a} \int_{l_a}^{l_{a+1}} l^{2.791} dl \quad \left. \vphantom{\int_{l_a}^{l_{a+1}}} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$$= 1.459825 \left\{ \left(l_{a+1}^{3.791} - l_a^{3.791} \right) / (l_{a+1} - l_a) \right\} \times 10^{-6}$$

上述の f_a および y_a の積を計算し，3才魚の値を基準として表層対象ストックの年齢別個体当り産卵数 p_a とした (表6)。

表6. 東部太平洋の表層漁業で漁獲されたキハダの平均産出卵数指数。

Table 6. Index of average fecundity of yellowfin tuna in the eastern Pacific surface fishery.

Age	Range of body length in cm ¹⁾	Mean ovum counts in million ²⁾	Average ratio of matured fish in percent ³⁾	Fecundity index
1	13—83	0.40	50	0.02
2	83—122	2.39	96	0.48
3	122—143	4.78	100	1.00
4	143—155	6.60	100	1.38
5	155—161	7.77	100	1.63
6	161—165	8.47	100	1.77
7	165—167	8.91	100	1.87
8	167—168	9.14	100	1.91

1) 成長曲線は HENNEMUTH (1961 a) による。

1) Growth cuve after HENNEMUTH (1961 a).

2) 体長別産卵数は JOSEPH (1963) による。

2) Ovum counts on length after JOSEPH (1963).

3) 体長級別群成熟度は ORANGE (1961) による。

3) Ratio of matured fish at different length class after ORANGE (1961).

ここで用いた数値は，表層漁場でも，とくに，若い時代から産卵する個体の多いメキシコ南部，パナマ沿岸の資料に基づいている。また，JOSEPH (1963) が指摘しているように，東部太平洋で表層漁業の対象となっているキハダは，少くとも主漁獲物である140 cm以下では，ハワイ近海ではえなわで獲られるものよりも多くの卵をもっている。この海域差は，対象ストックの遺伝的な違いによるとも考えられるが (JOSEPH 上出)，成熟ともなう陸地または表層への集合を示しているのかも知れない。生物学的最小形がとくに小さいメキシコ南部の資料を用いたこと，ならびに表層漁業が成熟の進んだ個体をとり易いかも知れないことを考慮すると表6に示した年齢別平均産卵数も偏りをもっているかもしれない。

以上のように，はえなわ漁業を通して得られた成熟，成長に関する資料 (表4) と表層漁業を通して得られた資料 (表6) を用いて，それぞれ平均産出卵数を計算してみた。表4と表6に示した値を比較すると前者は若い魚の産卵能力を過小に，後者は過大に評価している可能性をもっている。いいかえると，実際の相対産出卵数は2組の p_a を用いて計算した結果の中間におちるであろう。

3. 1. 3. 自然死亡係数

HENNEMUTH (1961 b), SCHAEFER (1957, 1967) によると，太平洋東部で表層漁業の対象となっている

キハダの自然死亡係数は0.8, 低くとも0.6, 高くとも1.0であろうとされている。本間他(1971)は中西部太平洋赤道海域のはえなわ対象ストックの自然死亡係数を求めると1をこえるが, それは逸散係数を含むからであって, 現実には東部太平洋で求められたように0.8前後かもしれないし, あるいはまた別に寿命を8才として推定された0.3前後であるかもしれないとのべている。石井(1969)は本間他と同じ資料を「加入が逐次的でかつ逸散のある模型」に適用して, 自然死亡係数は1~5才を混みにすると0.4~0.6, 1~3才と4,5才を分けると前者では0.34~0.39, 後者では0.57~0.92になるとのべている。自然死亡係数の推定値の幅はこのように広いけれども, 0.8がもっとも妥当なものと考えられてきた(FAO 1968, 林・木川 1970 a, b)。しかし, この値にも問題がないわけではない。自然死亡係数が0.8だとすると漁獲がなくても1才から5才迄に96%が死亡してしまうことになるが, これは処女漁場における大型魚の出現とは矛盾するような感じを与える。そうすると平均寿命等から類推した値0.3もその可能性は無視し切れない。ここでは自然死亡係数に大きな幅をつけて0.3, 0.6, 0.8, 1.0としておく。

3. 1. 4. 加入年齢および寿命

従来表層漁業は1~3才魚, はえなわ漁業は3~8才魚を漁獲すると考えられていた(FAO 1968, 林・木川 1970 a, b, 林・本間 1971)。最近になってギニア湾で操業を始めたアメリカの大型まき網船は2~5才魚を主対象とすることもあった(表3)。成熟や漁獲物の年齢組成にかんする知見を整理してみると, キハダは1才で産卵ストックに加入し, かつ, 漁獲される状態になり, 小型まき網や竿釣では1~3才, 大型まき網では2~5才, はえなわでは3~8才でとられると考えられる。最高寿命はよく判らないが8才と仮定しても大きな誤りはないと思われる。

3. 1. 5. 漁獲係数

大規模な発展をとげた東部太平洋, 東部大西洋の表層漁業, 中西部太平洋赤道水域および大西洋のはえなわ漁業の漁獲係数は1~2.8にわたっている(表7)。したがって, 試算としては, 漁獲係数を3までとった。

表 7. キハダ漁業について推定された漁獲係数

Table 7. Fishing coefficients estimated for yellowfin tuna fisheries

Fishery	Area	Period	Range of coefficient	Author
Longline fishery	Central-western equatorial Pacific	1955—1964	0.3—1.5	HONMA <i>et al.</i> (1971)
	Whole Atlantic	1956—1966	0.2—2.8	SUDA (1970)
Surface fishery	Eastern tropical Pacific	1934—1964	0.2—1.7	SCHAEFER (1957, 1967)
	Eastern equatorial Atlantic	1956—1966	less than 0.5	HAYASI and KIKAWA (1970 a)
	"	1970	0.88(0.81—0.95)	PIANET and LE HIR (1971)

須田(1970)は, 表層漁業が1~3才魚, はえなわ漁業が3~8才魚を漁獲し, かつ, 自然死亡係数が0.8であると仮定して, 大西洋のはえなわの漁獲能率を釣1千万本当たり0.239であると推定している。林・木川(1970 a)は, 同じ仮定の下で平衡状態に達した場合に期待される表層漁獲量と, はえなわ漁獲量とを計算し, はえなわの漁獲係数ならびに現実の漁業別漁獲量から表層漁獲係数を推定している。現実には, 表層漁獲物の年齢は少なくとも5才まで拡大した年もあり, かつ, 漁獲努力が年々変動しているので, 同氏らの方法は, きわめておおまかな漁獲係数推定値を与えるにすぎない。

しかし, とりあえず1969年におけるはえなわ漁業の有効努力量87,876,000本, 漁獲量25,500トン, ならびに, 1967年の表層漁獲量34,400トンを用いて, 両漁業の漁獲係数を概算した。はえなわの漁獲係数は $0.239 \times 87,876,000 \times 10^{-7} = 2.100$ である。一方, 1969年のはえなわ漁獲量に対する1967年の表層漁獲量の比は $34,400 / 25,500 = 1.35$ であるから, 林・木川(1970 a)の図6を補外すると表層漁獲係数は約0.4となる。一方, 同氏

らによる1964年の表層漁獲係数は 0.5, PIANET, LE HIR (1971) による1970年のフランス船漁獲係数は0.9である。1967年の表層漁業による漁獲量は34,400トンで1964年のそれは29,500トン, 1970年のフランス船漁獲量20,500トンに比べて大きいので今回求めた1967年の表層漁獲係数は過少評価のようである。さらに, 漁獲量が4万トンをこえている1968年以降の表層漁獲係数は, 1.0 近くに達したと考えた方が良さそうである。ここでは1970年の漁獲係数がはえなわで 2.0, 表層漁業で1.0に達したと仮定する。

3. 2. 計算式とその結果

3. 2. 1. 計 算 式

3. 1. 4. 節でのべたように大西洋における小型まき網, 竿釣といった従来からある表層漁業, 1967年に進出した大型まき網漁業およびはえなわ漁業の漁獲年齢をそれぞれ1~3才, 2~5才, 3~8才とくと, いずれの2つの漁業を組合わせても, それぞれの漁獲年齢は重なり合うので相対的に高齢群をねらうL漁業はもちろん若齢群をとるS漁業の加入当り漁獲量も相手の漁業の影響を受ける(式7)。

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= w_{\infty} F_s \{ e^{-M(a_{cs} - ar)} \cdot P(1) + e^{-\{M(a_{cl} - ar) + F_s(a_{cl} - a_{cs})\}} \cdot P(2) \} \\ Y_l &= w_{\infty} F_l \{ e^{-M(a_{cl} - ar) + F_s(a_{cl} - a_{cs})} \cdot P(2) \\ &\quad + e^{-\{M(a_{ds} - ar + 1) + F_s(a_{ds} - a_{cs} + 1) + F_l(a_{ds} - a_{cl} + 1)\}} \cdot P(3) \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

ただし

$$P(i) = \int_{c_i}^{d_i} e^{-Z_i(t - c_i)} (1 - be^{-kt})^3 dt$$

<i>i</i>	<i>Z_i</i>	<i>c_i</i>	<i>d_i</i>
1	<i>F_s</i> + <i>M</i>	<i>a_{cs}</i>	<i>a_{cl}</i>
2	<i>F_s</i> + <i>F_l</i> + <i>M</i>	<i>a_{cl}</i>	<i>a_{ds}</i> + 1
3	<i>F_l</i> + <i>M</i>	<i>a_{ds}</i> + 1	<i>a_{dl}</i> + 1

式7における *Z_i* はストック相対産出卵数を求める式4における *Z_a* と一致する。

式4をげんみつに書くと(式3の脚注参照),

$$\bar{E}_0 = p_a(p) \int_a^{a(p)+1} \exp\{-Ma(p)(t-a) dt\} + \sum_{a=a(p)+1}^{a(q)} p_a \exp\left\{-\sum_{n=a(p)}^{a-1} M_n\right\} \times \int_a^{a+1} \exp\{-M_a(t-a)\} dt$$

となるが, *Ma* が年齢にかかわらず一定であるから,

$$= \frac{1 - e^{-M}}{M} p_a(p) + \frac{1 - e^{-M}}{M} \sum_{a=a(p)+1}^{a(q)} p_a \exp\{-(a - a(p)) M\}$$

同様に漁獲対象期間の *Z_a* は一定値 *F* + *M*, *a*(*p*) = 1 であるので各漁業に対する相対産出卵数, *r*(*F*, *a_c*, *a_d*) は,

$$\left. \begin{aligned} r(F, 1, 3) &= \frac{1}{E_0} \left[\frac{1 - e^{-(F+M)}}{F+M} \sum_{a=1}^3 p_a e^{-(a-1)(F+M)} + \frac{1 - e^{-M}}{M} \sum_{a=4}^8 p_a e^{-\{(a-1)M + 3F\}} \right] \\ r(F, 2, 5) &= \frac{1}{E_0} \left[\frac{1 - e^{-M}}{M} \left\{ p_1 + \sum_{a=6}^8 p_a e^{-\{(a-1)M + 4F\}} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1 - e^{-(F+M)}}{F+M} \sum_{a=2}^5 p_a e^{-\{(a-1)M + (a-?)F\}} \right] \\ r(F, 3, 8) &= \frac{1}{E_0} \left[\frac{1 - e^{-M}}{M} \sum_{a=1}^2 p_a e^{-(a-1)M} + \frac{1 - e^{-F+M}}{F+M} \sum_{a=3}^8 p_a e^{-\{(a-1)M + (a-3)F\}} \right] \end{aligned} \right\} (8)$$

である。漁獲努力が増大すると, 漁獲開始年齢より高齢の魚の産出卵数は次第に減少し, ついにはストックの産出卵数は漁獲されていない若齢魚の産出卵数だけとなる。たとえば, 3-8才を狙うはえなわの漁獲努力が

無限に大きくなったとすると、その対象となっているストック産卵は1, 2才魚のみで支えられるようになる。したがって、漁獲努力が無限大になった場合の相対産出卵数は漁獲開始前の若齢魚による産卵量の E_0 に対する比,

$$r(\infty, a_c, a_d) = \frac{1}{E_0} \left[\frac{1-e^{-M}}{M} \sum_{a=a(p)}^{a(c)-1} p_a e^{-\{a-a(p)\}M} \right]$$

となる。

漁獲年齢を異にする2つの漁業がそれぞれ $a_{cs} \sim a_{ds}$ 才, $a_{cl} \sim a_{dl}$ 才にわたって, F_s, F_l の漁獲係数で間びくときの相対産出卵数は $a_{cs} < a_{cl}, a_{ds} < a_{dl}$ とすると, 前項でのべた計算の前提によって $a_{ds} > a_{cl}$ だから,

$$r(F_s, F_l, a_{cs}, a_{cl}, a_{ds}, a_{dl}) = \frac{1}{E_0} \left[\frac{1-e^{-M}}{M} \left\{ \sum_{a=1}^{a(cs)-1} p_a e^{-(a-1)M} + \sum_{a=a(dl)+1}^8 p_a e^{-\{(a-1)M+(a_{ds}-a_{cs}+1)F_s+(a_{dl}-a_{cl}+1)F_l\}} + \frac{1-e^{-(F_s+M)}}{F_s+M} \left\{ \sum_{a=a_{cs}}^{a_{cl}-1} p_a e^{-\{(a-1)M+(a-a_{cs})F_s\}} + \frac{1-e^{-(M+F_s+F_l)}}{M+F_s+F_l} \left\{ \sum_{a=a_{cl}}^{a_{ds}} p_a e^{-\{(a-1)M+(a-a_{cs})F_s+(a-a_{cl})F_l\}} + \frac{1-e^{-(F_l+M)}}{F_l+M} \left\{ \sum_{a=a}^{a(dl)} p_a e^{-\{(a-1)M+(a_{ds}-a_{cs}+1)F+(a-a_{cl})F_l\}} \right\} \right\} \right\} \right] \dots\dots\dots(9)$$

3. 2. 2. 自然時の年齢別ストック産出卵数

漁獲がまったくない場合に各年齢魚が産み出す卵数の比率を2組の年齢別個体当り産卵数(はえなわ資料にもとづく場合と表層漁業資料にもとづく場合), 4ヶの自然死亡係数について求めた(表8)。

表 8. 全く漁獲されていないキハダストックに期待される産出卵数の年齢別割合。

Table 8. Ratio of eggs expected to be spawned by each age group of unexploited yellowfin tuna stock.

Individual fecundity based on : Natural mortality coefficient		Longline samples				Surface fishery samples			
		0.3	0.6	0.8	1.0	0.3	0.6	0.8	1.0
Age	1	1	3	5	8	1	2	3	4
	2	4	10	15	21	12	23	32	39
	3	11	19	24	27	19	27	30	30
	4	19	24	25	23	19	20	18	15
	5	20	19	16	12	17	13	10	7
	6	18	13	9	5	14	8	5	3
	7	15	8	4	2	11	5	2	1
	8	12	5	2	1	8	3	1	0

当然のことながら高齢になって成熟することになるはえなわ標本の年齢別個体当り産卵数を用いると, 表層漁業の標本による場合よりも主産卵群の年齢は高くなる。たとえば自然死亡係数が0.8であればはえなわ標本から求めた年齢別産卵数を用いると4才魚が全体の25%を産み出すことになるのに対して, 表層漁業標本によると3才魚が全体の30%を産み出す主産卵群となる。

自然死亡係数が大きい程若齢魚の再生産に対する寄与が大きく推定されることもいうまでもない。はえなわ標本からえた平均産卵数を用いた例でいえば, 自然死亡係数が0.3から1.0まで変化すると, 産出卵数のもっとも多い年齢は5才から3才に変わり, かつ, 1才魚の産み出す卵が全体に占める割合は1%から8%に増加

する。

全体を通していえることは、漁獲が行なわれていない場合でも、計算上からは比較的若い魚が卵産出に大きく寄与していることがわかる。ちなみに、表8に示した8通りの計算のうち、自然死亡係数が0.8以上であれば4才以上の高齢魚の産出卵数は50%以下であり、はえなわでは余りとられない1、2才魚の産出卵が全体の20—43%を占めることになる。

3. 2. 3. 各漁業の加入当り漁獲量とストック相対産出卵数

成長係数および年齢別個体当り産出卵数を2通り、自然死亡係数を4通りに仮定して、1～3才（従来の表

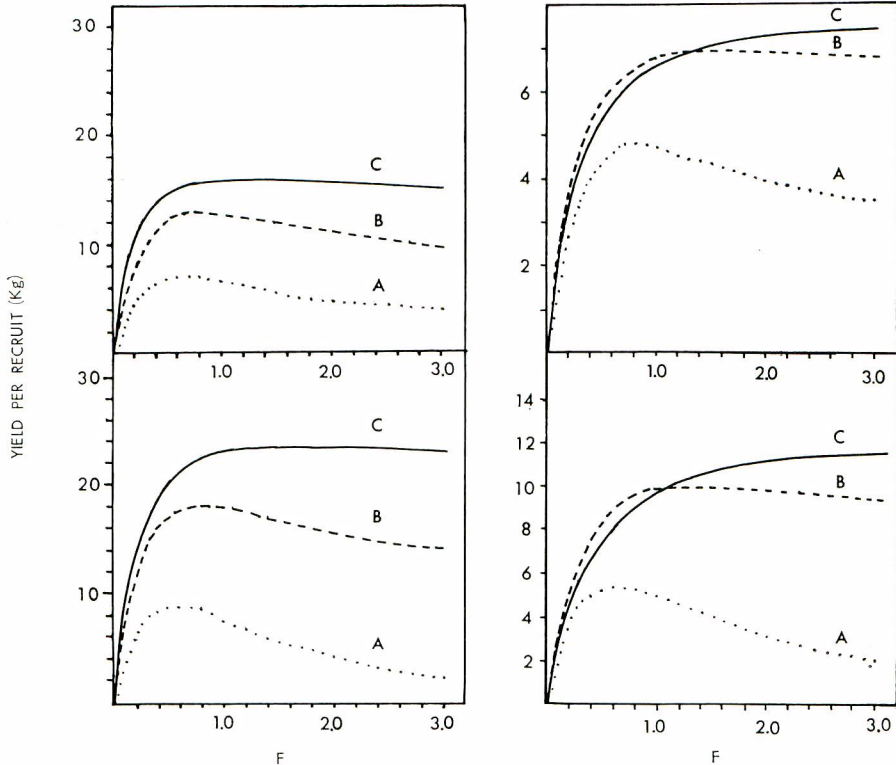


図5. 1—3才(A), 2—5才(B), 3—8才(C)で漁獲する3種の漁業のいずれか1つで開発した場合に期待できるキハダの加入当り漁獲量。

自然死亡係数, M , および成長パラメータ, k , t_0 , w_∞ , は次のように仮定する。

M : 0.3 (左欄), 0.6 (右欄),

k , t_0 , w_∞ : 0.8, 0.0, 122 kg (上列), 0.6, 0.86, 99 kg (下列)。

Fig. 5. Yield-per-recruit of yellowfin tuna expected for either one of three types of fisheries, aiming at 1- to 3-age fish (A), at 2- to 5-age fish (B), or at 3- to 8-age fish (C).

Natural mortality coefficient, M , and growth parameters, k , t_0 and w_∞ , are assumed as follows:

M : 0.3 (left column) or 0.6 (right column).

k , t_0 and w_∞ : 0.3, 0.0 and 122 kg (upper row) or 0.6, 0.86 and 99 kg (lower row).

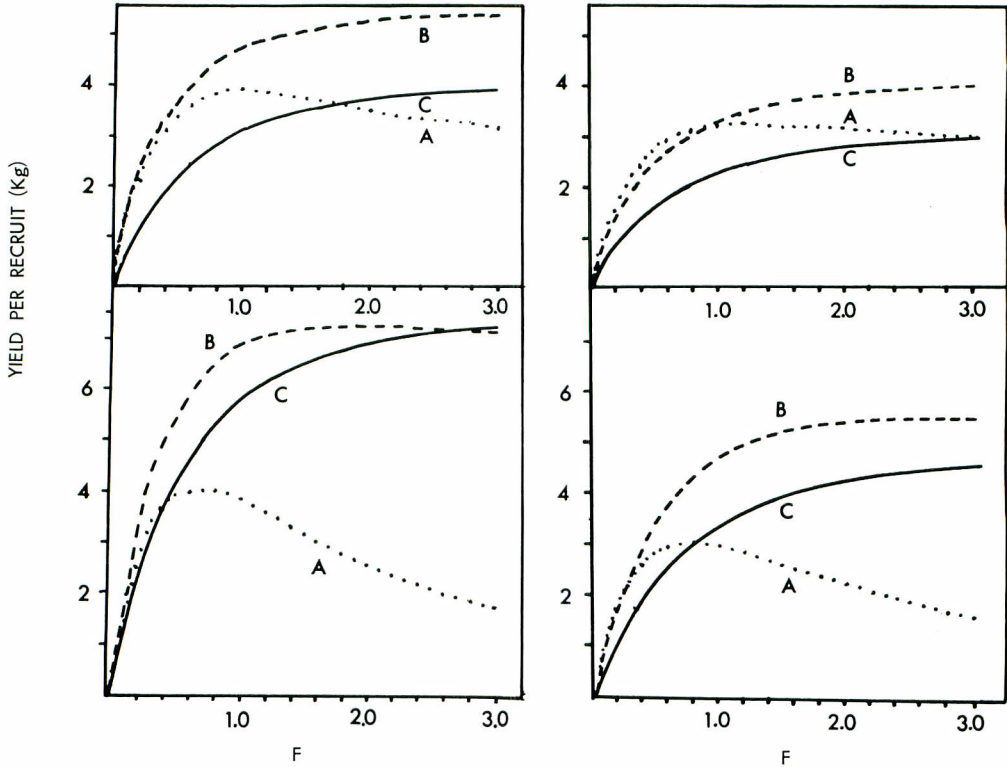


図 5. (続)。

M : 0.8 (左欄), 1.0 (右欄),

k, t_0, w_{∞} : 0.3, 0.0, 122 kg (上列), 0.6, 0.86, 99 kg (下列)。

Fig. 5. (Continued).

M : 0.8 (left column) or 1.0 (right column)

k, t_0 and w_{∞} : 0.3, 0.0 and 122 kg (upper row) or 0.6, 0.86 and 99 kg (lower row).

層漁業), 2~5才(大型まき網漁業), 3~8才(はえなわ漁業)で間引く場合に漁獲係数が3.0に達するまでに起こる加入当り漁獲量とストックの相対産出卵数の変化を計算した。

3つの漁業のうち, 1~3才をとる表層漁業の加入当り漁獲量は自然死亡係数が1.0でしかも藪田他の成長式が成り立つ場合を除いて, 他の漁業のそれよりも少ない。また, 漁獲年齢が低いから加入当り漁獲量を最大とする漁獲係数 F_{max} は他の漁業におけるよりも低く, M が1.0であっても F_{max} は0.6~1.0の範囲をこえない(図5)。

成長係数 k が大きい HENNEMUTH の成長式を用いた場合の方が, 藪田らの成長式に基づく場合よりも, 1~3才魚をとる漁業の効率を低く見積っていることは一見奇異な感じをあたえるかも知れない。しかし, その原因は成長曲線上の発生期 t_0 もまた k とならんで生体量が最大となる年齢に影響することにある。林(未刊)は生体量が最大となる年齢 t_{max} をつぎのとおり t_0, k, M の関数に変換している。

$$t_{max} = t_0 + \frac{1}{k} \log e \left(1 + \frac{3k}{M} \right)$$

k, t_0 をあたえた場合の生体量が最大となる年齢を $t_{max}(k, t_0)$ と書くと, 藪田らの式を用いた計算値は

$t_{max}(0.3, 0)$ ，表層漁業資料によるそれは $t_{max}(0.6, 0.85)$ であるが， M が 0.5 より小さいうちは前者が大きく， M がそれより大きければ後者が大きくなる。そこで前者と後者との差，

$$\begin{aligned} t_{max}(0.3, 0) - t_{max}(0.6, 0.85) &= \left[0 + \frac{1}{0.3} \log_e \left(1 + \frac{0.9}{M} \right) \right] - \left[0.85 + \frac{1}{0.6} \log_e \left(1 + \frac{1.8}{M} \right) \right] \\ &= -0.85 + \frac{1}{0.6} \left[\log_e \left(\frac{M+0.9}{M} \right)^2 - \log_e \left(\frac{M+1.8}{M} \right) \right] \\ &= -0.85 + \left[\frac{1}{0.6} \log_e \frac{(M+0.9)^2}{M(M+1.8)} \right] \text{ を} \end{aligned}$$

0.1 から 1.2 までの自然死亡係数に対して計算すると， M が非常に小さい場合は別として， M が 0.6 以上では後者が前者より 0.2~0.4 年大きいことになる（図6）。

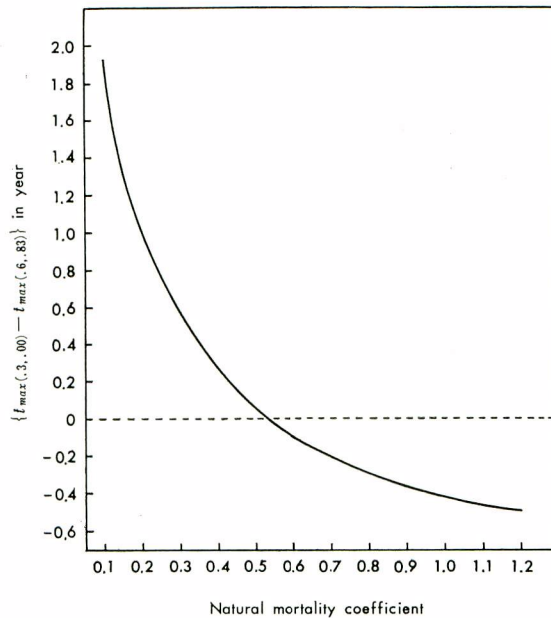


図 6. 自然死亡係数による $t_{max}(0.3, 0)$ と $t_{max}(0.6, 0.83)$ との差。

Fig. 6. Difference between $t_{max}(0.3, 0)$ and $t_{max}(0.6, 0.83)$ for different natural mortality coefficients (see text).

いずれにしても，1~3才を漁獲すると2才からとり始めて5才以上の高齢を利用する場合に比べて加入当り漁獲量を大きくできない。一方，2~5才を対象とする大型まき網漁業による加入当り漁獲量は3~8才を狙うはえなわ漁業のそれと比べて自然死亡係数が0.6~0.8では大差ないが，0.3ならば少く，1.0ならば大きい（図5）。若い時代からとる漁業は漁獲係数が高まると産出卵数を著しく減らすことも再確認された。同じ表層漁業のうちでも，2~5才魚をとる場合には漁獲係数が1に達しても自然時の9~41%の卵が確保されている（表9）。

3. 2. 4. 2~5才および3~8才魚を対象とする2つの漁業による加入当り漁獲量およびストック相対産出卵数

1~3才魚を対象とする表層漁業と3~8才魚を対象とするはえなわ漁業とが共存する場合に加入当り漁獲量を高め，相対産出卵数を維持するには，はえなわの漁獲係数を相対的に高めた方が良いことはすでに示した（林・木川 1970 a）。ここでは表層漁業が2~5才魚を狙った場合をとり上げた。その結果によると加入当

表 9. 個体の産出卵数，自然死亡係数，漁獲年令が異なる24の場合について計算したキハダの相対産出卵数。

Table 9. Relative stock fecundity of yellowfin tuna for 24 cases differing in individual fecundity, natural mortality coefficient and ages of exploited phases.

Individual fecundity based on :		Longline samples											
		0.3			0.6			0.8			1.0		
Natural mortality coefficient													
Ages of exploited phase		1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8
Fishing mortality coefficient	0.1	75	73	77	77	78	83	78	81	87	80	84	90
	0.2	57	55	60	59	62	71	61	67	77	64	72	83
	0.3	43	41	49	46	50	62	48	56	70	52	63	77
	0.4	32	32	41	36	41	54	39	48	64	42	55	72
	0.5	25	25	33	28	34	49	31	41	59	35	49	68
	0.6	19	20	30	22	29	44	25	36	55	29	44	64
	0.7	14	16	26	17	25	41	21	32	51	25	40	61
	0.8	11	13	23	14	22	38	17	29	48	21	37	59
	0.9	9	11	21	11	19	35	14	26	46	18	34	57
	1.0	7	9	19	9	17	33	12	24	44	15	32	55
	1.1	5	8	18	8	15	31	10	22	42	14	30	53
	1.2	4	7	16	6	14	30	9	21	41	12	28	52
	1.3	3	6	15	5	13	29	8	19	39	11	27	50
	1.4	3	6	15	5	12	28	7	18	38	10	26	49
	1.5	2	5	14	4	11	27	6	17	37	9	25	48
	1.6	2	5	13	3	11	26	5	16	36	8	24	47
	1.7	1	4	13	3	10	25	5	16	35	7	23	46
	1.8	1	4	12	3	10	24	4	15	35	7	22	46
	1.9	1	4	12	2	9	24	4	14	34	6	21	45
	2.0	1	4	11	2	9	23	4	14	33	6	21	45
	2.1	1	3	11	2	8	23	4	14	33	5	20	44
	2.2	1	3	11	2	8	22	3	13	32	5	20	43
	2.3	1	3	10	2	8	22	3	13	32	5	19	43
	2.4	1	3	10	2	8	21	3	12	31	5	19	42
2.5	1	3	10	1	7	21	3	12	31	4	18	42	
2.6	0	3	10	1	7	21	2	12	31	4	18	41	
2.7	0	3	10	1	7	21	2	12	30	4	18	41	
2.8	0	3	9	1	7	20	2	11	30	4	17	41	
2.9	0	3	9	1	7	20	2	11	30	4	17	40	
3.0	0	2	9	1	6	20	2	11	29	4	17	40	
∞	0	1	5	0	3	13	0	5	20	0	8	29	

表 9. (続)。

Table 9. (Continued).

Individual fecundity based on :		Surface fishery samples											
		0.3			0.6			0.8			1.0		
Natural mortality coefficient													
Ages of exploited phase		1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8	1,3	2,5	3,8
Fishing mortality coefficient	0.1	76	77	82	79	82	89	80	85	92	81	88	94
	0.2	59	60	68	62	69	79	64	74	85	67	78	89
	0.3	45	48	59	49	58	72	52	65	80	55	70	85
	0.4	35	39	52	39	50	67	42	57	75	46	64	82
	0.5	27	33	46	32	44	62	35	51	72	38	58	79
	0.6	22	27	42	25	39	59	29	47	68	32	53	76
	0.7	17	23	39	21	35	56	24	42	66	27	50	74
	0.8	13	20	36	17	31	53	20	39	64	23	46	72
	0.9	10	18	34	14	29	51	17	36	62	20	43	70
	1.0	8	16	32	12	26	49	14	34	60	17	41	69
	1.1	7	14	30	10	24	48	12	31	58	15	38	68
	1.2	6	13	29	8	23	46	10	30	57	13	36	66
	1.3	4	11	28	7	21	45	9	28	56	11	35	65
	1.4	4	11	27	6	20	44	8	26	55	10	33	64
	1.5	3	10	26	5	19	43	7	25	54	9	32	64
	1.6	3	10	25	4	18	42	6	24	53	8	30	63
	1.7	2	9	24	4	17	41	5	23	52	7	29	62
	1.8	2	8	24	3	16	40	5	22	51	6	28	61
	1.9	2	8	23	3	15	40	4	21	51	6	27	61
	2.0	2	8	23	3	15	39	4	20	50	5	26	60
	2.1	1	7	22	2	14	39	3	20	50	5	26	59
	2.2	1	7	22	2	14	38	3	19	49	4	25	59
	2.3	1	7	22	2	13	38	3	18	49	4	24	58
	2.4	1	6	21	2	13	37	3	18	48	4	23	58
	2.5	1	6	21	2	12	37	2	17	48	3	23	58
	2.6	1	6	21	1	12	36	2	17	47	3	22	57
	2.7	1	6	20	1	12	36	2	16	47	3	22	57
	2.8	1	5	20	1	11	36	2	16	46	3	21	56
	2.9	1	5	20	1	11	35	2	16	46	3	21	56
	3.0	0	5	20	1	11	35	2	15	46	3	20	56
∞	0	1	13	0	2	25	0	3	34	0	4	44	

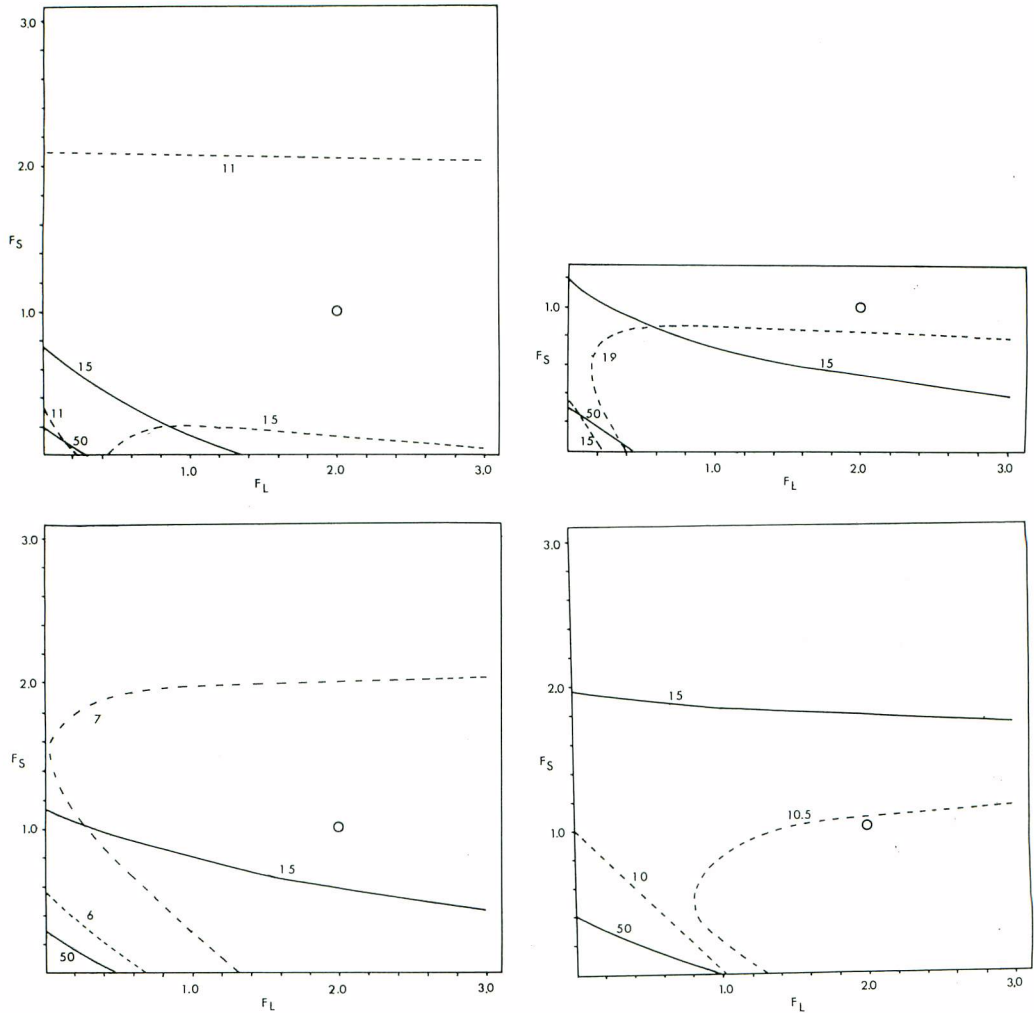


図 7. 2-5才と3-8才のキハダをそれぞれ漁獲係数 F_s , F_L にとる2種の漁業による加入当り漁獲量, kg (点線), および相対産出卵数, % (実線)。自然死亡係数, M , および成長係数, k , t_0 , w_∞ , 年令別相対豊度, p_a は次のように仮定してある。

M : 0.3 (上列), 0.6 (下列),

k , t_0 , w_∞ および p_a : 0.3, 0.0, 122kg, 表4 (左欄), 0.6, 0.86, 99kg,

表6 (右欄), ○印は暫定的に求めた1970年における2つの漁獲係数。

Fig. 7. Yield-per-recruit in kg (dotted line) and relative stock fecundity in percent (solid line) of yellowfin tuna taken by two types of fisheries aiming at 2- to 5-age fish, F_s , and at 3- to 8-age fish, F_L , with tentative estimates of fishing coefficients in 1970 (○). Natural mortality coefficient, M , growth parameters, k , t_0 , and w_∞ and relative fecundity by age, p_a , are assumed as follows: M : 0.3 (upper row) or 0.6 (lower row), k , t_0 , w_∞ and p_a : 0.3, 0.0, 122 kg and as in Table 4 (left column), or 0.6, 0.86, 99 kg and as in Table 6(right column).

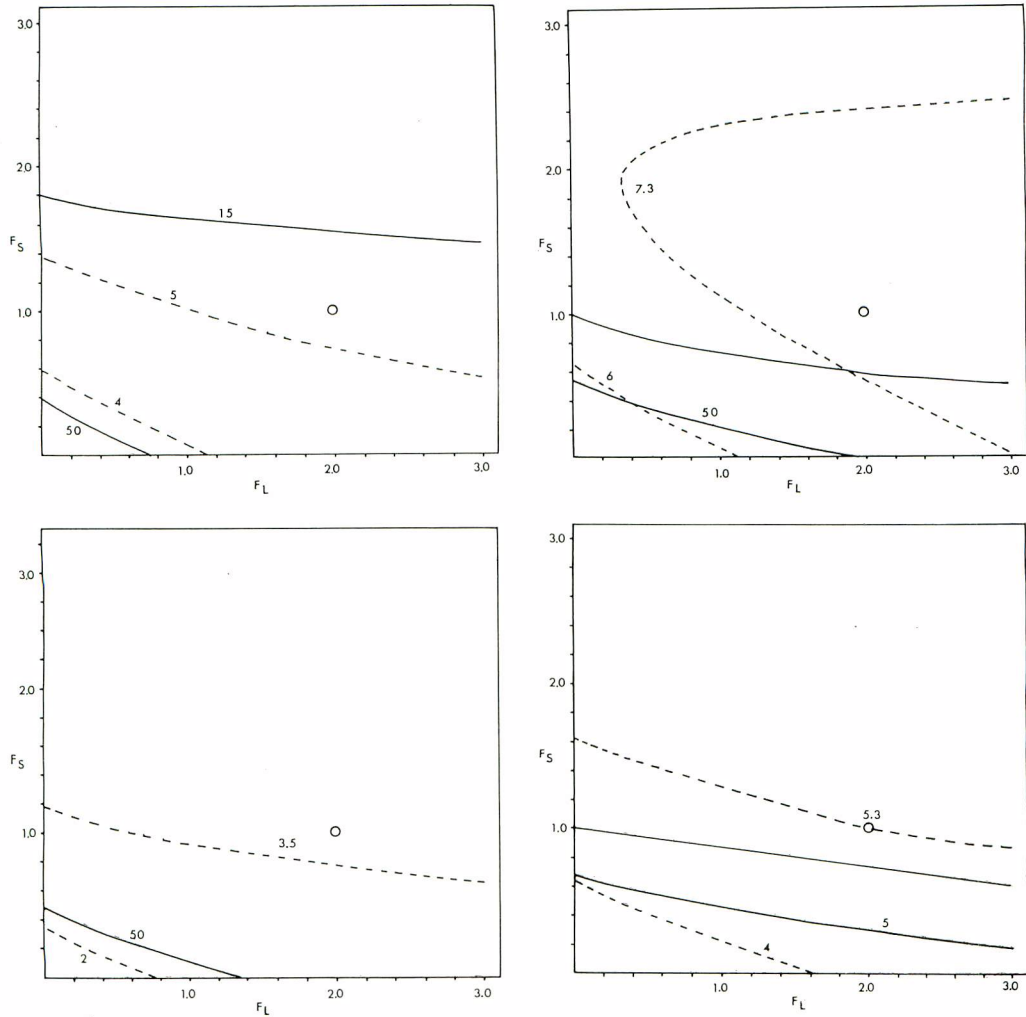


図 7. (続)。

$M: 0.8$ (上列), 1.0 (下列), k, t_0, w_∞ および $p_a: 0.3, 0.0, 122 \text{ kg}$,
 表 4 (左欄), $0.6, 0.86, 99 \text{ kg}$, 表 6 (右欄)。

Fig. 7. (Continued).

$M: 0.8$ (upper row) or 1.0 (lower row),
 k, t_0, w_∞ and $p_a: 0.3, 0.0, 122 \text{ kg}$ and as in Table 4 (left
 column), or $0.6, 0.86, 99 \text{ kg}$ and as in Table 6(right column).

り漁獲量は、自然死亡係数が0.6以下か、あるいは0.8でも HENNEMUTH (1961 a) の成長式が成り立つ限り、大型になってからとる漁業をのばした方が大きく、自然死亡係数が1.0か、あるいは0.8でも 藪田他 (1960) の成長式が妥当であれば2才からとった方が大きいことになる。また、相対産出卵数を高めるにはいずれの場合でも若年魚の漁獲を抑制する方が有効である (図7)。

いずれにしても、加入当り漁獲量もストックの相対産出卵数も表層漁獲係数の変化に対してより一層敏感に反応することに注意したい。また、加入当り漁獲量は、漁業の現在位置から出発して、その等量線に直角に最

高値にむかって漁獲強度を調節すれば、次第に増大する。ここで図5と図7とを比較すると、表層漁業にせよはえなわ漁業にせよそれぞれの漁獲係数が両者が共存する場合(図7)の加入当り漁獲量の最大値に対応する大きさをこえると、漁獲係数の増加にともなう加入当り漁獲量の増加は個々の漁業についてみても、非常に小さくなることに注意する必要がある。たとえば、図7の $M=0.8$, $k=0.3$, $t_0=0.0$, $w_\infty=122\text{ kg}$ のパネルにおける加入当り漁獲量の最大値は 5 kg である。これを達成する2~5才を狙う表層漁獲係数ははえなわがない場合に約1.4である。つぎに、図5における2~5才魚をとる漁業の漁獲量曲線(Bで示した曲線)上で F を1.4から3.0に倍増しても加入当り漁獲量は 5.2 kg にしかならない。3~8才を狙う漁業において、1.4, 3.0の漁獲係数に対する加入当り漁獲量は 4.2 kg , 4.7 kg で努力量を倍増しても漁獲量は12%しか増えない。先に見積ったように現在の漁獲係数(はえなわ漁業の2.0, 表層漁業の1.0)を図7にプロットすると、自然死亡係数が極めて低く0.3であれば、現在の漁獲係数は加入当り漁獲量を最大にする値をこえているし、自然死亡係数が0.6~1.0の範囲であっても、漁獲努力の増大が漁獲量の実質的な増加をもたらさない大きさに達したといえる。漁獲量がもはやほとんど増加しないこのような状態になると、漁獲努力の増大は単位努力当り漁獲量を激減させるとともに、産出卵数を急激に低下させる。親子の量的関係が確立されていない現在、加入低下を惹き起こす産出卵数は明らかではないけれども、漁獲量の実質的な増大が望めないのに、加入を減らすおそれのある方向に漁業を変えてゆくことは避けるべきであろう。

4. ビンナガの加入当り漁獲量とストック相対産卵数

4.1 必要な資料

4.1.1 成長

ビンナガの成長を表わすにも BERTALANFFY の式が広く用いられている。北太平洋および大西洋のストックについての報告によると、この式における成長係数 k は0.15から0.25におよんでいる(表10)。OTSU (1960) は変曲点が極限体長の $1/2$ より小さくなるはずであると考え GOMPertz の成長式、

$$l = ab e^{-x+a}$$

表 10. BERTALANFFY の成長式にあてはめたビンナガの成長係数。

Table 10. Growth coefficients of albacore fitted with BERTALANFFY's equation.

Sea areas	Fishing gears	Materials	Growth coefficients			Authors
			k	$l_\infty(\text{cm})$	t_0 (year)	
Northern Pacific	Longline and pole-and-line	Scale	0.15	146.5	-0.86	YABUTA and YUKINAWA (1963), SUDA (1966) CLEMENS (1961) OTSU (1960)*
	Longline, pole-and-line and trolling	Tagging	0.17 0.25	135.6 118	-1.87 -0.02	
	Pole-and-line and trolling	Scale and tagging	0.2247	108.8	-2.27	
Equatorial Atlantic	Longline	Scale	0.214	126	0.18	YANG (1970)
	Longline	Scale	0.190	135	0.14	YANG (1970)
Northern Atlantic (Bay of Biscay)	Pole-and-line	Length frequency	0.163	146	-1.15	Calculated from BARD and DAO (1970)
Atlantic Ocean	Longline, pole-and-line and trolling		0.141	140	-1.15	BEARDSLEY (ms)

* OTSU (1960) は同氏の極限体長推定値 118 cm は実測最大体長 124 cm にくらべて小さすぎると指摘している。

* OTSU (1960) points that the asymptotic length of 118 cm is too small compared with the observed largest fish of about 124 cm .

を用いた。同氏はその定数を $a=118\text{ cm}$, $b=0.177$, $c=1.43$, $d=0.23$ とおいているが、この極限体長は過小評価であると考えている。これらの成長式は漁獲対象となる2才以上については相互によく一致しているが(図8)、発生時期に対応する t_0 が負の値をとり、しかも、絶対値で1をこす場合が多いことは注意する必要がある。

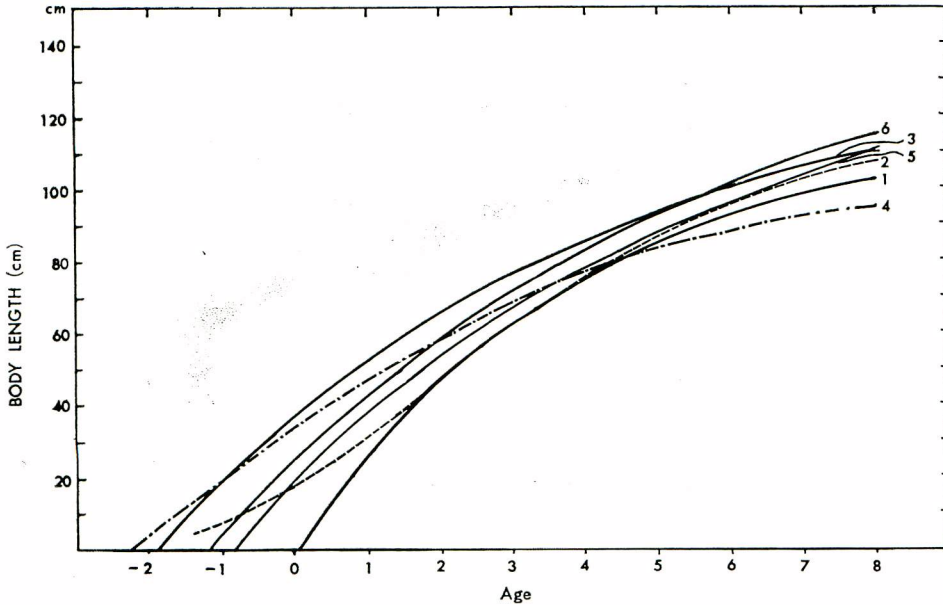


図 8. 最近の6編の論文におけるビンナガの成長曲線。

1. OTSU (1960)*, 2. OTSU (1960)*, 3. CLEMENS (1961).
 4. BELL (1962). 5. 藪田・行縄 (1963)**. 6. BARD and DAO (1971).

* これらの3つの成長曲線は次のように修正してある。OTSUの成長曲線の t は2年増加させてある。藪田・行縄の成長曲線の t_0 は須田(1966 a)にしたがって0.5年増加させてある。

** YANG (1970)の成長曲線は須田によって修正された藪田・行縄の成長曲線とほとんど一致する。

Fig. 8. Growth curves of albacore in six recent investigations.

1. OTSU (1960)*, 2. OTSU (1960)*, 3. CLEMENS (1961).
 4. BELL (1962). 5. YABUTA and YUKINAWA(1963)**. 6. BARD and DAO (1971).

* Three curves with asterisks are modified: t_0 in two OTSU's curves are increased by 2 years, and t_0 in YABUTA and YUKINAWA's curve is increased by 0.5 year as proposed by SUDA (1966 a).

** Yang (1970) shows almost the same growth curve with that given by YABUTA and YUKINAWA and adjusted by SUDA.

ここでは計算の便宜上ビンナガの成長を BERTALANFFY の式にあてはめ、その常数として従来用いてきた藪田・行縄(1963)の結果を修正した須田(1966 a)の値(式10-1)、および成長係数 k がもっとも大きい OTSU (1960)の値(式10-2)を用いた。

$$l_t = 146.5 (1 - 0.88e^{-0.15 t}) \dots\dots\dots (10-1)$$

$$l_t = 118 (1 - e^{-0.25 t}) \dots\dots\dots (10-2)$$

l_t ; 発生後の時刻 t における体長, 時間および体長の単位はそれぞれ年および cm.

なお, 式10-2による2才以上の体長は GOMPERTZ の式にあてはめた結果とほとんど一致している。

4. 1. 2. 成 熟

ビンナガは発育および成長にともなって, 分布域を顕著に変える。未成魚は亜熱帯環流の高緯度側, 成魚はその低緯度側に分布し, 未成魚のうちでは, 成長の小さいものほど低温の, 一般的には高緯度の海域でとられる(須田 1962)。体長組成, 仔稚の出現状態をみると, ビンナガは6才で成熟し, 産卵場である低緯度海域に移動する(上柳 1966, 須田 1966 a)。

これらの報告から, ビンナガの年齢別群成熟度 f_a を,

$$f_a = 0 \quad a \leq 5$$

または $f_a = 1 \quad a \geq 6$ とおく。

1尾当りの産卵数は体長の3乗に比例すると仮定して, ビンナガのストックの産出卵数は6~10才魚の生体量に比例すると見做す。

4. 1. 3. 自然死亡係数

須田(1966 a)はビンナガの自然死亡係数は発育にともなって変化するらしいと考えている。同氏によると5才以下の未成魚期の自然死亡係数は多分0.2, 大きくとも0.4をこえない, また成魚期における自然死亡係数は6才で0.4, 7才で0.6, 8才で0.8……というように, 年令とともに0.2ずつ増大すると仮定されている。BEARDSLEY (ms)も大西洋のビンナガが自然死亡係数を0.22~0.38であろうと仮定している。

4. 1. 4. 加入年齢および寿命

北太平洋表層漁業における主漁獲物は東部で2~4才(BROCK 1943, PARTLO 1955, CLEMENS 1962), 西部で4, 5才(たとえば, 須田 1966 a)である。また, ビスケー湾の主漁獲物は60~65 cm および70~80 cm であるが, やはり3, 4才と考えてよさそうである(BARD・DAO 1971)。はえなわ漁獲物では緯度による体長の変異が顕著であって, 中緯度水域では未成魚, 低緯度水域では成魚が漁獲されることは, 太平洋, インド洋, 南大西洋で確かめられている(NAKAMURA 1962, 須田 1962, 古藤 1969)。最高年齢は須田(1966 a)に従って10才とする。したがって, 温帯域東部の表層漁業は2~4才, 西部の表層漁業, はえなわ漁業は4, 5才, 熱帯域のはえなわ漁業は6~10才の成魚をとると仮定しておく。なお, BEARDSLEY (ms)も, 最近の体長組成をとりまとしてビスケー湾の表層漁業は2~5才魚, とくに, 3, 4才魚を, また, 大西洋漁場のはえなわ漁業は5~10才魚を対象としていると仮定して, 計算を進めている。

4. 1. 5. 漁獲係数

資源状態の評価にかんする研究が進められている北太平洋のストックについてみると漁獲係数は0.5に達していないといわれる(須田 1966 b)。BEARDSLEY (ms)の資料によってもビスケー湾の表層漁獲係数は1.0, 大西洋のはえなわ漁獲係数は0.4~0.6と思われる。したがって, 漁獲係数は3.0までとれば十分である。

4. 2. 計算とその結果

4. 2. 1. 計 算 式

5才以下の未成魚と6才以上の成魚とは別の漁法または同じ漁法であっても別の漁場で漁獲されるので, 2つの漁業の漁獲年齢は重なり合わず, 若い魚をとる漁業の加入当り漁獲量は高齢魚をとる漁業に影響されない。一方, 成魚期にはいると自然死亡係数は年齢とともに増加する。これら2つの条件の下では加入当り漁獲量は式11によって計算される。

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= w_{\infty} F_s e^{-M I (a_{cs} - ar)} \cdot P(1) \\ Y_l &= Y_l (F_s = 0) \times \exp \{-F_s (a_{ds} - a_{cs} + 1)\} \\ Y_l (F_s = 0) &= w_{\infty} F_l \left[e^{-M I (a_{cl} - ar)} \cdot \sum_{a=a(c l)}^{a-1} \exp \left\{ -F_l (a - a_{cl}) + \sum_{n=a(c l)}^{a-1} M_n \right\} P(2) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)^*$$

* $\sum_{n=a(c l)}^{a-1} M_n$ については式3の脚注を参照のこと。

ただし M_I ; 未成魚期における自然死亡係数,
 M_a ; 成魚期 a 才における自然死亡係数,

$$P_i = \int_{c_i}^{d_i} e^{-Z_i(t-c_i)}(1-be^{-kt})^3 dt$$

i	Z_i	c_i	d_i
1	$F_s + M_I$	a_{cs}	$a_{ds} + 1$
2	$F_l + M_a$	a_{cl}	$a_{dl} + 1$

また、5才以下では成熟しないので、未成熟魚の漁獲に対する $r \cdot s \cdot f \cdot$ は $\exp\{-F_s(a_{ds}-a_{cs}+1)\}$ である。

一方、漁業が全くない場合の産出卵数 E_o は

$$E_o = \sum_{a=6}^{10} \exp\left(-5M_I - \sum_{n=6}^{a-1} M_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-M_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots\dots\dots(12-1)$$

$g(t)$; 時刻 t における平均体長

M_I ; 未成魚期の自然死亡係数,

M_a ; 成魚期の年齢別自然死亡係数,

で表わされる。未成魚をとる漁業が全くない場合における産出卵数に対応する値は、

$$E(F_s=0) = \sum_{a=6}^{10} \exp\left(-5M_I - \sum_{n=6}^{a-1} Z_n\right) \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots\dots\dots(12-2)$$

$$Z_n = M_n + F_l, Z_a = M_a + F_l$$

となるから、未成魚に対する漁業が全くない場合のストック相対産出卵数 $r \cdot s \cdot f \cdot (F_s=0)$ は

$$r \cdot s \cdot f \cdot (F_s=0) = E(F_s=0) / E_o \dots\dots\dots(13-1)$$

となる。未成魚が a_{cs} 才から a_{ds} 才まで F_s の漁獲係数でへらされると、成魚ストックへの加入尾数は、

$$\exp\{-(a_{ds}-a_{cs}+1)F_s\}$$

に減少するから、一般的にストック相対産出卵数は、

$$r \cdot s \cdot f \cdot = \exp\{-(a_{ds}-a_{cs}+1)F_s\} \cdot r \cdot f \cdot s \cdot (F_s=0) \dots\dots\dots(13-2)$$

となる。

4. 2. 2. 自然時の年齢別ストック産出卵数

ここで用いた2つの成長式の差異は各年齢魚の卵産出量に大きな影響を与えない。成魚の最高年齢は一応10才としたが8才までで90%近い卵を産み出していることになる(表11)。

表 11. 全く漁獲されていないビンナガストックに期待される産出卵数の年齢別割合。

Table 11. Ratio of eggs expected to be spawned by each age group of unexploited albacore stock,

Growth coefficient		0.15	0.25
Age	1—5	0	0
	6	41	42
	7	30	30
	8	18	17
	9	8	8
	10	3	3

4. 2. 3. 各漁業の加入当り漁獲量とストック相対産出卵数

漁業が全くない場合におけるビンナガの生体量は5才末で最大になる(林・木川 1970 b)。したがって、5

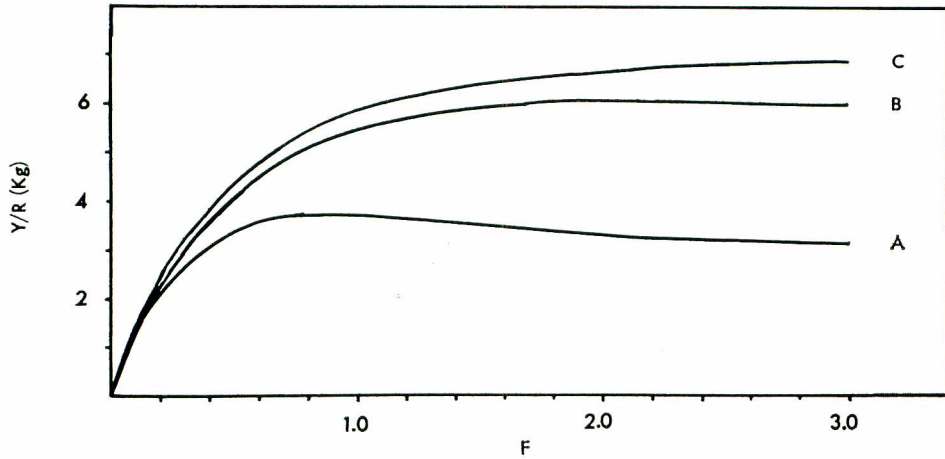


図 9. 2-4才魚 (A), 4-5才魚 (B), 6-10才魚 (C) のビンナガを漁獲する3つの漁業による加入当り漁獲量。
自然死亡係数は2-5才では0.2, 6才以降は年に0.2づつ増加するものとする。

Fig. 9. Yield-per-recruit of albacore by either one of three types of fisheries aiming at 2- to 4-age fish (A), 4- and 5-age fish (B), and 6- to 10-age fish (C).
Natural mortality coefficient is assumed as 0.2 for 2- to 5-age, and then increased by 0.2 with one year.

表 12. 漁獲年令が異なる3つの漁業について計算したビンナガの相対産出卵数。

Table 12. Relative stock fecundity of albacore for three different exploited phases.

Exploited phases		2- to 4-age	4- and 5-age	6- to 10-age
Fishing coefficient	0.1	74	82	87
	0.2	55	67	76
	0.3	41	55	67
	0.4	30	45	60
	0.5	22	37	54
	0.6	17	30	49
	0.7	12	25	45
	0.8	9	20	41
	0.9	7	17	38
	1.0	5	14	35
	1.1	4	11	33
	1.2	3	9	31
	1.3	2	7	29
	1.4	1	6	27
	1.5	1	5	26
	1.6	1	4	24
	1.7	1	3	23
	1.8	0	3	22
	1.9	0	2	21
	2.0	0	2	20
2.1	0	1	19	
2.2	0	1	18	
2.3	0	1	18	
2.4	0	1	17	
2.5	0	1	16	
2.6	0	1	16	
2.7	0	0	15	
2.8	0	0	15	
2.9	0	0	14	
3.0	0	0	14	
∞	0	0	0	

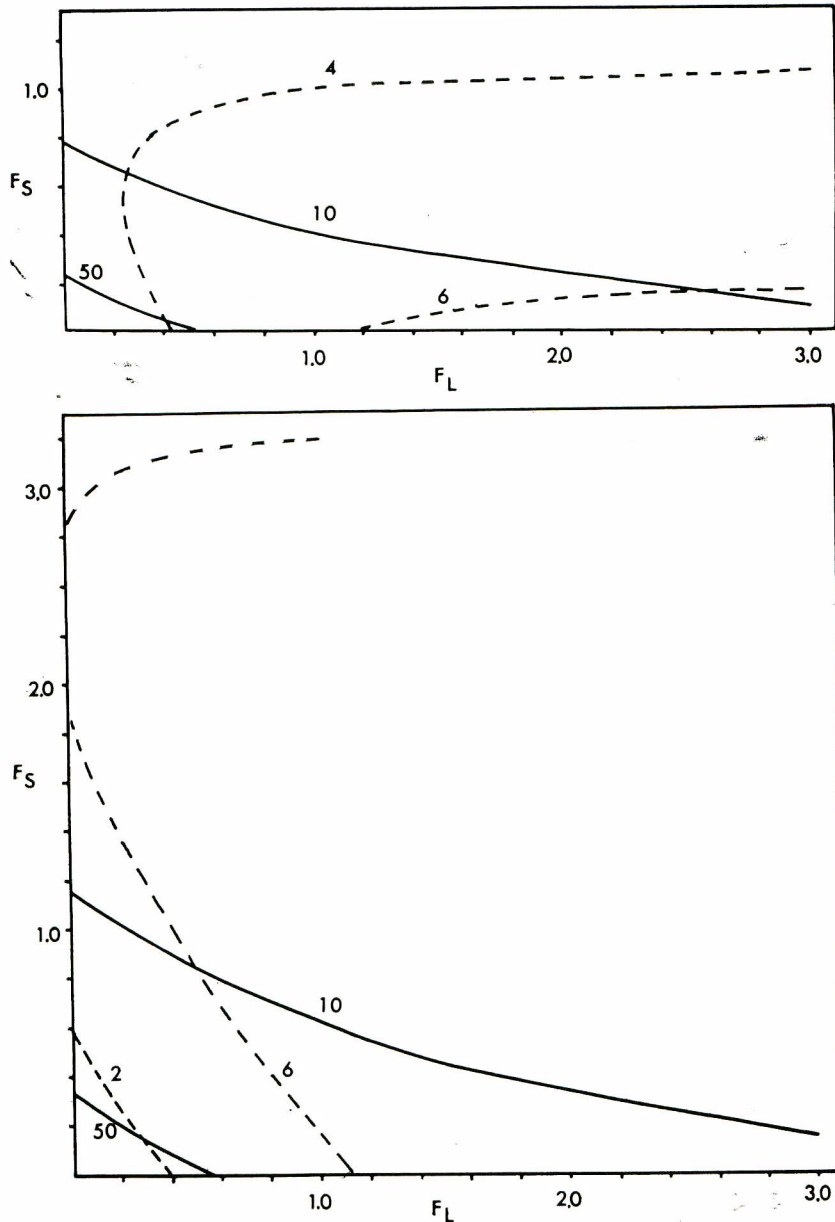


図 10. 未成魚と 6-10 才の成魚を漁獲する 2 種の漁業によるビンナガの加入当り漁獲量, kg (点線), と相対産出卵数, % (実線)。

未成魚の漁獲対象期間は 2-4 才 (上図) および 4-5 才 (下図)。

Fig. 10. Yield-per-recruit in kg (dotted line) and relative stock fecundity in percent (solid line) of albacore taken by two types of fisherie aiming at immatures and 6- to 10-age adults. Exploited phase of immature fishery is either 2- to 4-ages (upper panel) or 4- and 5- ages (lower panel).

才より若い魚を狙うとすればできるだけ高年になってからとる方が良いが、この場合には漁獲量を最大にする有限の漁獲係数がある。6才以上でとり始めれば漁獲係数を大きくする程漁獲量は大きくなる(図9)。

一方、相対産出卵数は高齢になってとる程、高い水準で維持され、とくに、成魚になってからとれば漁獲係数が1で30%以上、2に達しても20%に保たれる(表12)。

4. 2. 4. 未成魚漁業と成魚漁業による加入当り漁獲量と相対産出卵数の変化

図10に見る通り2つの漁業の漁獲係数の和がほぼ1をこえるようになると、未成魚よりは成魚をとるようにした方が加入当り漁獲量を大きく、相対産出卵数を高く保てる。成長係数、自然死亡係数がここで用いた数値でなくて従来の最高推定値0.25、0.4であっても生体量が最大となる年齢は4.2才で先の5才未同様3年をこえているから平均漁獲開始年齢を3才未満に引き下げると加入当り漁獲量は低下する。なお、6才から産卵するから、5才以前の魚をとればストックの相対産出卵数は減少する。

5. 論議および結論

5. 1. 概 括

漁獲統計についての観察によると、漁業はキハダを著しく減少させた。ピンナガの減少は洋心では目立たないがビスケー湾では注目をひいている。

現在のキハダの成長係数、自然死亡係数の推定値は研究者によって大幅に異なり、加入当り漁獲量に対する漁獲年齢の影響を計算した結果はまちまちでどのような型の漁業が良いとはいいい切れない。これに対してピンナガの特性値推定結果はほぼ一致しており、漁獲年齢による加入当り漁獲量および相対産出卵数についてはかなりはっきりした結論が下せそうである。しかし、キハダ、ピンナガを通して成魚になってから(産卵の機会を1回でも多く与えてから)漁獲した方が産出卵数への影響は少ないということだけはまちがいないところである。

5. 2. キハダの保存

はえなわ漁業の釣獲率および漁獲量が低下しているので加入の変化に注意する必要がある。とくに、1970年には大型まき網船隊が急増したにもかかわらず表層漁獲量さえも減少した事実注意到意したい。これがたんに漁業が拡大から安定に移る時代につきものの一時的な漁獲量の低下に対応した現象であれば良いが、もし、生体量が最大になる前の若い個体のとりすぎによる加入当り漁獲量の減少や、さらに、産出卵数の極端な低下にともなう加入量の減少によるものであれば問題である。

加入変動を検討する実際的な方法は表層漁業における若年魚の経年変化の観察を重ねることであろうが、漁業が急速に拡大している現状では早急な規制を調査と同時に進めないと、資源評価が完了した時には加入がすでに低下してしまっているという事態さえおこりかねない。

規制と調査を並行させる具体的な方策の1例はつぎのようなものである。急成長をとげてきた表層漁業はまだ産出卵数に影響を与え易い(表9)。ところで、ある年の産出卵数はその年の漁獲強度のみでなく、その年の親魚が加入年齢に達して以来毎年受けてきた漁獲強度にも影響される。成長をとげている漁業の対象ストックは常に平衡状態におけるストックより大きいので、漁獲努力量を現状で固定しても、その漁獲量や産出卵数はなお低下するはずである(図1)。主産卵群は3才魚であるから1才魚に対する漁獲が強まり加入が低下するとしても、その影響は漁獲強化の2年後に産卵数が限界値を割り、さらに、翌年になって、始めて1才魚の減少として現われるはずである。つまり、漁獲係数を固定する措置をとったとしても、現在の漁獲係数がすでに加入低下を来す程であるかどうかは3年後になって判断されるのである。もし、固定された漁獲係数が過大であれば、3年後には漁獲努力量を削減するための措置が不可欠となるが、その実施は過剰な漁獲強度が大きい程困難となる。

規制の実施方式は、生物学的情報のみでなく、社会科学的情報によっても決定されるが、ここでは生物学的情報と、操業の実態の一端のみに基づいて論議する。加入当り漁獲量およびストック相対産出卵数を一定量だけ変化させるのに要する漁獲係数の変化量は、はえなわ漁業では大きく、表層漁業では小さい(図7)。つま

り、漁獲量や産出卵数は表層漁業の変化に対してより敏感に反応するといえる。したがって、表層漁獲係数ははえなわ漁業のそれよりも一層高い精度で調節されることが望ましい。一方、表層漁船の航海期間は1ヶ月以下の場合が多く、たとえば、IATTC で実施しているようにきめの細かい規制が実施できる条件がある。これに対してはえなわ漁獲係数の増減にともなう漁獲量、相対産出卵数の変化は表層漁業におけるそれに比べてはるかに小さい。その反面はえなわ漁船の航海は6ヶ月以上にもわたるので、漁獲量や有効努力量の限界を定め、個々の漁船の操業を特定の日に中止させることはむずかしいであろう。はえなわ漁業にみられる上述の特徴は「大西洋のキハダ」といって特定のストックの漁獲量、あるいは有効努力量を定めて、その上限に達したら直ちに操業を規制するよりは、むしろ須田(1971)が提唱しているように全大洋におけるはえなわ船の努力量を制限する方が有利なことを示している。もっとも、ミナミマグロの例でははえなわ漁船といえども特定のストックに集中し、その対策が必要となった(林他 1969, 1972)。

このような事態が大西洋のキハダに生じた場合には、このストックの保存を目的とした漁獲量または漁獲努力量の制限という直接的な措置が必要となることはいうまでもない。いずれにせよ漁獲努力の急激な成長を十分に監視し、資源低下の兆候に対しては、速やかに規制措置を講ずる必要が近代的漁業にとってはとくに大きいことはよく知られているところである(たとえば GULLAND 1971)。

5. 3. ビンナガの保存

はえなわ漁業の拡大が表層漁業におけるビンナガを減少させたと考えている研究者もある(例えば DAO 1971)。ところで、表層漁業ははえなわ漁業よりも若い魚をとっているため、はえなわ漁業は、ビンナガの再生産を低下させる程強度に間引いた場合にのみ、表層漁獲量を減少させることになる。しかし、現実には釣獲率の低下は、初期の1/3程度であって、再生産に影響する程はえなわの漁獲強度が増大したとは考えにくい。そうとはいつても、表層漁獲量が減っていることは事実であるので、今後、表層、はえなわ両漁業の対象ストック相互の関係を明らかにするための研究を進める必要がある。なお、そのためには、南北両ストック別に有効努力量、資源量指数、密度指数を計算する必要がある。

引用文献

- BARD, F. X. and J. C. DAO 1971, "Résultats préliminaires sur la croissance du germon du Golfe de Gascogne". *Rapp. Scient. Tech., CNEXO*. (4), 25—33.
- BEARDSLEY, G. L. ms. "Contribution to the dynamics of Atlantic albacore with comments on potential yields".
- BELL, R. R. 1962. "Age determination of the Pacific albacore of the California coast". *Calif. Fish and Game*. 48 (1), 39—48.
- BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT 1957, "On the dynamics of exploited fish populations". *U. K. Fish. Invest. Ser.* II, 19, 533p.
- BROCK, V. E. 1943, "Contribution to the biology of the albacore (*Germo alalunga*) of the Oregon Coast and other parts of the North Pacific". *Stanford Ichth. Bull.* 2 (6), 199—248.
- CLEMENS, H. B. 1961, "The migration, age and growth of Pacific albacore (*Thunnus germo*), 1951—1958", *Calif. Fish and Game, Fish Bull.* (115), 128 p.
- DAO, J. C. 1971, "État du stock de germon (*Thunnus alalunga*) du Golfe de Gascogne". *Publ. CNEXO, Ser. Rap. Sci. Tech.* (4), 17—24.
- Food and Agriculture Organization, U. N. 1968, "Report of the meeting of a group of experts on tuna stock assessment". *FAO Fish. Rept.* (61), 45 p.
- GULLAND, J. A. 1971, "Science and fishery management". *J. Cons. int. Explor. Mer.* 33 (3), 471—477.

- 林 繁一・本間操 1969. “延縄漁業の漁獲統計からみた大西洋のキハダ資源にかんする一考察, 1956—64年”. 遠洋水研報告 (2), 65—83.
- 林 繁一・本間 操 1971. “大西洋のキハダ資源状態の評価, 1956—1967年”, 同誌 (4), 71—92.
- 林 繁一・本間 操・新宮千臣 1969. “ミナミマグロの資源状態の評価, 1960—1966年”. 鮪漁業 (84), 9—23, 日本鯷鮪漁業協同組合連合会・日本鯷鮪漁業者協会.
- 林 繁一・木川昭二 1970 a. “大西洋におけるキハダの合理的利用にかんする見解”. 遠洋水研 *S Series* (3), 73—96.
- 林 繁一・木川昭二 1970 b. “マグロ類の開発における表層漁業とはえなわ漁業の効率の比較”. 同誌 (3), 97—114.
- 林 繁一・古藤 力・新宮千臣・久米 漸・森田安雄 1970. “大西洋におけるマグロ漁業資源の状態, 1956—67年”. 同誌 (3), 1—72.
- 林 繁一・新宮千臣・久田幸一 1972. “ミナミマグロ資源の合理的利用に関する一つの推論, 1957—1968年”. 同誌 (6), 63—88.
- HENNEMUTH, R. C. 1961a. “Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the year 1954—1958”. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.* 5 (1), 112 p.
- HENNEMUTH R. C. 1961b. “Year class abundance, mortality and yield-per-recruit of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean, 1954—1959”. *Ibid.* 6 (1), 1—112.
- HOLT, S. J., J. A. GULLAND, C. TAYLOR and S. KURITA 1959. “A standard terminology and notation for fishery dynamics”. *J. Cons. int. Explor. Mer* 24 (2), 239—242.
- 本間 操・久田幸一 1971. “大西洋のキハダ個体群の構造”, 遠洋水研報告 (4), 93—124.
- 本間 操・上村忠夫・林 繁一 1971. “太平洋ではえなわ漁業の対象となったキハダ資源診断における資料の取扱いと1950—1964年資料への適用”. 同誌 (4), 1—25.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas 1970. “Report of the Standing Committee on Research and Statistics”. *ICCAT CON. 70*.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas 1971 a. “Statistical Bulletin Vol. 1”. *SCRS/71/13*.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas 1971 b. “Report of the Standing Committee on Research and Statistics (SCRS)”. *SCRS/71/53*.
- 石井丈夫 1967. “逐次加入のある資源におけるパラメーターの推定値について—I. 太平洋赤道海域のキハダにおける推定値への逐次加入の影響”. 日水会誌 33 (6), 513—523.
- 石井丈夫 1969. “同上一V. 東西移動を考慮した太平洋海域キハダのパラメーターの同時推定”. 同誌 35 (6), 537—548.
- JOSEPH, J. 1963. “Fecundity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) from the eastern Pacific Ocean”. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.* 7 (4), 257—292.
- 上村忠夫・本間 操 1963. “太平洋のマグロ延縄漁場におけるキハダ *Neothunnus macropterus* (TEMMINCK and SCHLEGEL) の分布”, 南海水研報告 (7), 31—54.
- 上村忠夫・須田 明・林 繁一 1966. “まぐろ漁業に関するシンポジウム, 第2部資源”. 日水会誌 32 (9), 756—786, 829.
- 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”. 南海水研報告 (23), 131—208.
- 古藤 力 1969. “ビンナガの研究—XIV. はえなわ操業結果からみたインド・大西洋におけるビンナガの分布と魚群の移動についての若干の考察”. 遠洋水研報告 (1), 115—129.

- 栗田 晋 1964. “数理資源学における標準術語および記号について”，日水会誌 30 (11), 940—943.
- LE GUEN, J. C. et C. CHAMPAGNAT 1968 “Croissance des albacores (*Thunnus albacares*) dans les régions de Pointe-Noire et de Dakar”. *Doc. ORSTOM, Centre de Pointe-Noire* (431), 24 p.
- LENARTZ, W. H. 1971, “Yield per recruit of Atlantic yellowfin tuna for multi-gear fisheries”. *ICCAT, SCRS/71/27*, 9 p.
- LENARTZ, W. H. ms. “Estimates of yield per reruit of Atlantic yellowfin tuna”.
- 森 慶一郎 1970, “日本近海太平洋側におけるマグロ類とくにキハダ (*Thunnus albacares*) の産卵についての一考察”，遠洋水研報告 (3), 215—228.
- NAKAMURA, H. 1962, “An outline of the tuna longline grounds in the Pacific”. *Occ. Rept. Nankai Reg. Fish. Res. Lab.* (1), 1—8.
- ORANGE, J. C. 1961, “Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the eastern tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development”. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.* 5 (6), 459—526.
- OTSU, T. 1960, “Albacore migration and growth in the North Pacific Ocean as estimated from tag recoveries”. *Pacific Science* 14 (3), 257—266.
- PARTLO, J. M. 1955, “Distribution, age and growth of eastern Pacific albacore (*Thunnus alalunga* GMELIN)”. *Jour. Fish. Res. Bd. Canada* 12 (1), 35—60.
- PIANET, R. et Y. Le Hir 1971, “La campagne thonière 1970 à Pointe-Noire. Évolution de la pêche thonière dans le sud du Golfe de Guinée de 1964 à 1970”. *Doc. Sci Centre de Pointe-Noire, ORSTOM ns* (17), 48 p.
- RICKER, W. E. 1954, “Stock and recruitment”. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 11 (5), 559—623.
- 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), 244—285.
- SCHAEFER, M. B. 1967, “Fishery dynamics and present status of the yellowfin tuna population of the eastern Pacific Ocean”. *Ibid* 12 (3), 87—136.
- 塩浜利夫 1971, “まぐろはえなわ漁業の漁獲努力の質的变化を測定するところみ，I—大西洋漁場を例としてみた特定海域と特定魚種に対する漁獲努力の指向性”，遠洋水研報告 (5), 107—130.
- 塩浜利夫・明神方子・坂本久雄 1965, “大西洋における既往の延縄操業資料とこれに関する二、三の考察”，南海水研報告 (2), 1—31.
- 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”，同誌 (15), 1—38.
- 須田 明 1966 a, “北太平洋におけるビンナガの漁獲変動—VI. 簡単な数学的模型による漁獲効果の検討 (続報 I) ……前報のモデルの修正”，同誌 (24), 1—14.
- 須田 明 1966 b, “同上—VII. 持続性産量を推定するところみ”，同誌 (24) 103—114.
- 須田 明 1970, “主として漁獲努力量，漁獲量のデータを用いて近似的にポピュレーションのパラメーターを指定する方法”，遠洋水研報告 (3), 11—14.
- SUDA, A. 1971, “Possible problems involved in the regulation of tuna longline fishery”. *OECD Fish. Division, International Symposium on Fisheries Economics, FI/T (71) 1/45*.
- 鈴木治郎 1971, “太平洋のキハダについて求められた成長係数に関する考察”，遠洋水研報告 (5), 89—106.
- 上柳昭治 1966, “まぐろ漁業に関するシンポジウム，第1部漁業生物”，日水会誌 32 (9), 739—755, 828.
- 藪田洋一・行縄茂理 1963, “ビンナガの成長と年齢”，南海水研報告 (17), 111—120, 2 pls.
- 藪田洋一・行縄茂理・薬科侑生 1960, “キハダの成長と年齢—II. 鱗にみられる輪紋からの検討”，同誌 (12), 63—74.

YANG, R. 1970. "Studies of age and growth of Atlantic albacore and a critical review on the stock structure". *Institute of Oceanography, National Taiwan University, Progress Rept.* II-(1), 1-16.

楊 榮宗, 能勢幸雄, 松山義夫 1969. "太平洋水域と大西洋水域のキハダの年齢及び成長の比較に関する研究". 遠洋水研報告 (2), 1-22.