

年令によって自然死亡係数が異なる魚族の 加入当り漁獲量及び相対産出卵数の計算*

本 間 操

(遠洋水産研究所)

Calculation of yield-per-recruit and relative stock fecundity
for fish populations with age-dependent natural mortality

Misao HONMA

(Far Seas Fisheries Research Laboratory)

Observing changes of yield-per-recruit and relative stock fecundity due to changes in age at first capture and fishing mortality provides some criteria for improving and regulating fisheries. However, changes in mortality rates and other parameters during different stages of life make the calculations laborious.

The author tried to consolidate some basic assumptions for the calculations in which the natural mortality and group maturity are supposed to vary depending upon age. Formulae (4) and (5), together, are procedures of calculating Y/R . For the evaluation of relative stock fecundity, formulae (7), (8), (9) and (10) are provided. Appended to this paper are the FORTRAN-Programs for the above mentioned formulae adapted to the HITAC 8500. With the use of these programs, as an example, calculation for the required figures of the southern bluefin tuna are demonstrated.

は し が き

漁獲開始年令と漁獲係数の変化に対する加入当り漁獲量は、漁業の体質改善を考える上に便利な第一近似である(たとえば BEVERTON・HOLT 1957, p 310)。また、潜在的な再生産力ともいふべき相対産出卵数—全く漁獲が行われていないストックの産出卵数に対する漁獲対象となったストックの産出卵数の比—は、加入低下のおそれが生じた資源について、漁業規制方策を考える上で一つの目安を与える(林・本間・鈴木1972, 林・木川 1970 a, b, 林・新宮・久田 1972)。しかし、これらの数値の計算に当って、自然死亡係数が一定でないといふかなり労力を要する。

一方、自然死亡係数は魚の生涯を通じて一定ではなく、年令による変化が示唆されている魚種としては、ニシン類 (TESTER 1955, BEVERTON・HOLT 1957, 田中 1960), マイワシ類 (田中 1960, HAYASI 1968), *Coregonus* 及び *Stigosteidon* (RICKER 1949), ビンナガ (須田 1966), ミナミマグロ (林・新宮・久田 1972) キハダ (石井 1967, 1969) 等枚挙にいとまがない。したがって、加入当り漁獲量および相対産出卵数の計算は、

* 1973年10月31日受理 遠洋水産研究所業績 第109号

年令によって自然死亡係数が変わることを前提としたものでない実際的でない。そこで本報ではこれらを計算する際の基本的な考え方と、プログラムを提供し、かつ実例として、ミナミマグロについて計算を行い、その結果の使い方を例示した。

なお、本プログラム作成ならびに計算例は農林研究計算センター（農林省共同利用電子計算機、HITAC 8500）を通して行った。

本研究をとりまとめるにあたって遠洋水産研究所浮魚資源部第一研究室林繁一室長の指導を得た。また、上柳昭治浮魚資源部長、須田明企画連絡室長は原稿を校閲した上で有益な御意見を与えられた。ここに記して深謝の意を表する。

1. 計算式とその基本となる考え方

1. 1. 前 提

この計算では漁獲死亡係数 F は、漁獲開始時刻 t_c から同終了時刻 t_d まで、自然死亡係数 M_a は1つの年令に対して一定であるとした。もっとも、各年令（漁獲開始年令 a_c 才にあっては t_c から $a_c + 1$ 才までの間）における F と M_a との比が一定であれば時間の単位を適当にとることによってそのまま用いられるし、そうでなければ漁期が中央にくるように年を設定して誤差を小さくできるとしている (RICKER 1948)。魚の体重 w_t は VON BERTLANFFY の式で表わした。

$$w_t = w_{\infty}(1 - be^{-kt})^3 = w_{\infty}\{g(t)\}^3 \dots\dots\dots (1)$$

w_{∞} ; 極限体重

k ; 成長係数

b ; 成長式上の発生時期に対する補正, $b = e^{k \cdot t_0}$

$g(t)$; 時刻 t における体長の相対値

相対産出卵数 *r. s. f.* (relative stock fecundity)

$$\frac{(\text{ある漁業で長年にわたって開発されているストックから産み出されるはずの卵の数})}{(\text{全く漁獲されていないストックから産み出されるはずの卵の数})} = \frac{S(F, t_c, t_d)}{S(F=0)}$$

の計算に当っては、年令別の産出卵数はその年令の生体量と群成熟度 $p(a)$ に比例すると仮定した。なお、分子、分母はいずれもここで指定された条件のもとにおける産出卵数の指標であるので、産卵量指数と呼んでおく。

1. 2. 時刻と年令の定義

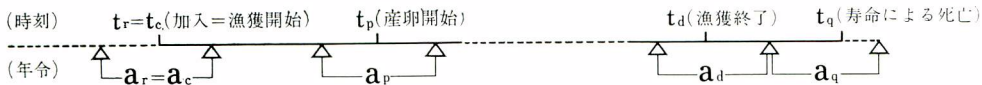
林・本間・鈴木 (1972) は加入当り漁獲量に加えて、相対産出卵数を計算する際に考慮すべき年令をつぎのようにのべている。

「通例の加入当り漁獲量の研究では魚がとられうるようになった年令、つまり加入年令、および実際に漁獲される年令および漁獲終了年令を考えれば良い (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令より前の産卵しうる状態に達した年令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 、産卵開始の方がおおい場合には産卵が始まる時刻を t_p 、漁獲開始の方がおお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」。

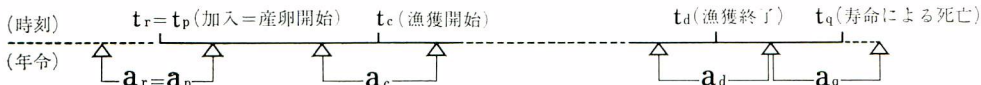
ここで t_r , t_p , t_c , t_d , t_q という時刻を含む年令をそれぞれ a_r , a_p , a_c , a_d , a_q で示すと、一般的な時刻と年令との関係は図1の通りとなる。ただし、 t_q を1年以下の単位で測ることは、たとえば、サケ、マスなどを除いて困難である。また、ウナギのように非常に特殊な魚を別にすれば、なんらかの漁具によって a_q 才迄とられているであろう。少くともまぐろはえなわ漁業などでは a_d と a_q とを区別する必要はさしあたり認められないので、今回の計算では、 t_q , a_q は t_d , a_d に一致し、かつ t_d は a_d 才の末、つまり $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} a_d + 1 - \Delta t$

* 林・本間・鈴木 (1972) の時刻と年令との図示には若干の誤植がある。

産卵が始まる前から獲りはじめる漁業の場合



産卵が始ってから獲りはじめる漁業



△は年の変わり目を示す。

図 1. 加入、漁獲および産卵における時刻 t と年齢 a との関係 (林・本間・鈴木1972 から改変)

Fig. 1. Relation between times, t 's, and ages, a 's, at recruit, catch and spawning. (Modified from HAYASI, HONMA and SUZUKI 1972.)

Above : Fishing begins before first spawning.

Below : Fishing begins after first spawning.

- t_r : time of recruit.
- t_c : time of first capture.
- t_p : time of first spawning.
- t_d : time of end of capture.
- t_q : time of natural death due to life span.
- a_r : age of recruit.
- a_c : age of first capture.
- a_p : age of first spawning.
- a_d : age of end of capture.
- a_q : age of natural death due to life span.

であるとした。産卵の始まる時刻と産卵が終了する時刻も厳密に測定することは困難であるので、産卵は t_p を含む a_p 才初期から始まり、 a_d 才未で終了するとしておく。

1. 3. 加入当り漁獲量の計算手続き

t_c から t_d まで漁獲係数 F で間引いた際に期待される加入当り漁獲量 $y (F, t_c, t_d)$ は、各年齢群のそれ $y_{a(c)}, y_{a(c)+1}, y_{a(c)+2}, \dots, y_{a(d)}$ の和である。 t_c は必ずしも a_c 才の初めではないから、この年齢で漁業が作用する期間は t_c から a_c+1 つまり $(a_c - t_c + 1)$ であって1年に達するとは限らない。また、 a_c 才初めの加入当り資源尾数 $N_{a(c)}$ は、 $a_c = a_r$ ならば1、 $a_c > a_r$ ならば、 a 才の自然死亡係数を M_a とおいて、

$$\exp(-M_{a(r)} - M_{a(r)+1} - \dots - M_{a(c)-1}) = \exp(-\sum_{n=a(r)}^{a(c)-1} M_n)$$

となる。したがって、 a_c 才における加入当り漁獲量 $y_{a(c)}$ は、

$$y_{a(c)} = w_\infty F N_{a(c)} \exp\{-M_{a(c)}(t_c - a(c))\} \cdot \int_{t(c)}^{a(c)+1} \exp\{-Z_{a(c)}(t - t_c)\} \{g(t)\}^3 dt \dots \dots \dots (2)$$

$Z_{a(c)}$; a_c 才における全死亡係数、この場合、 $M_{a(c)} + F$ となる。

$a_c + 1$ 才から a_d 才までの各年齢については1年間にわたって漁獲対象となるので、その加入当り漁獲量 y_a は、

$$y_a = w_\infty F N_a \int_a^{a+1} \exp\{-Z_a(t - a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots \dots \dots (3)$$

となる。ここで a 才初期の生残り N_a は、

$$N_a = N_{a(c)} \exp\{-M_{a(c)}(t_c - a_c) - Z_{a(c)}(a_c - t_c + 1) - Z_{a(c)+1} - \dots - Z_{a-1}\} \\ = N_{a(c)} \exp\{-M_{a(c)}(t_c - a_c) - Z_{a(c)}(a_c - t_c + 1) - \sum_{n=a(c)+1}^{a-1} Z_n\} \\ Z_a = M_a + F$$

となる。

(2) 式および (3) 式における積分部分、つまり「漁獲対象期の 相対的生体量の変化を示す項」を $Q_{a(c)}$ および Q_a で表わすと、漁獲対象となる全期間を通じ漁獲係数 F で間引いたときの加入当り総漁獲量は

$$y(F, t_c, t_d) = w_{\infty} F \exp \left\{ - \sum_{n=a(c)}^{a(c)-1} M_n - M_{a(c)} (t_c - a_c) \right\} \cdot \\ \left[Q_{a(c)}(F, t_c, a_c + 1) + \exp \{ -(M_{a(c)} + F)(a_c - t_c + 1) \} \right. \\ \left. \sum_{a=a(c)+1}^{a(d)} \exp \left\{ - \sum_{m=a(c)+1}^{a-1} (M_m + F) \right\} \cdot Q_a(F, a, a+1) \right] \dots \dots \dots (4)$$

となる。 $Q_{a(c)}$ 、 Q_a を展開して比較すると、

$$Q_{a(c)}(F, t_c, a_c + 1) = \int_{t(c)}^{a(c)+1} e^{-(M_{a(c)} + F)(t - t_c)} (1 - be^{-kt})^3 dt \\ = \frac{1 - \exp \{ -(M_{a(c)} + F)(a_c - t_c + 1) \}}{M_{a(c)} + F} \\ - \frac{3b \exp(-k \cdot t_c) [1 - \exp \{ -(M_{a(c)} + F + k)(a_c - t_c + 1) \}]}{M_{a(c)} + F + k} \\ + \frac{3b^2 \exp(-2k \cdot t_c) [1 - \exp \{ -(M_{a(c)} + F + 2k)(a_c - t_c + 1) \}]}{M_{a(c)} + F + 2k} \\ - \frac{b^3 \exp(-3k \cdot t_c) [1 - \exp \{ -(M_{a(c)} + F + 3k)(a_c - t_c + 1) \}]}{M_{a(c)} + F + 3k} \\ Q_a(F, a, a+1) = \int_a^{a+1} e^{-M_a + F(t-a)} (1 - be^{-kt})^3 dt \\ = \frac{1 - \exp \{ -(M_a + F) \}}{M_a + F} \\ - \frac{3b \exp(-k \cdot a) [1 - \exp \{ -(M_a + F + k) \}]}{M_a + F + k} \\ + \frac{3b^2 \exp(-2k \cdot a) [1 - \exp \{ -(M_a + F + 2k) \}]}{M_a + F + 2k} \\ - \frac{b^3 \exp(-3k \cdot a) [1 - \exp \{ -(M_a + F + 3k) \}]}{M_a + F + 3k}$$

となり、積分区間および自然死亡係数の値が異なるだけで、両者に共通するより一般的な表現をすれば上の二つの式は(5)式の如くなる。

$$Q(b, k, Z, c, d) = \frac{1 - \exp \{ -Z(d-c) \}}{Z} \\ - \frac{3b \exp(-k \cdot c) [1 - \exp \{ -(Z+k) \cdot (d-c) \}]}{Z+k} \\ + \frac{3b^2 \exp(-2k \cdot c) [1 - \exp \{ -(Z+2k) \cdot (d-c) \}]}{Z+2k} \\ - \frac{b^3 \exp(-3k \cdot c) [1 - \exp \{ -(Z+3k) \cdot (d-c) \}]}{Z+3k} \dots \dots \dots (5)$$

ただし、

c ; 年の始め、ただし a_c 才では t_c でつまり積分の下端

d ; 年の終り、つまり積分の上端

そして引数 (パラメーター) が多くても解は 1 個であるので、プログラミングに際しては FUNCTION プログラムとして組込めば便利である。

なお、この計算に必要なプログラムおよびデータシートの記入方法は付録 1 に示す。

1. 4. 相対産出卵数の計算手続き

前提でのべた $r. s. f. = S(F, t_c, t_d) / S(F=0)$ の分母は, $F=0$ の場合の分子である。したがって, 産卵量指数 S の計算式を, 全く漁業のない場合と, 漁業のある場合とに分けて説明すると容易である。

a) 全く漁業がない場合の産卵量指数

$$S(F=0) = p_{a(p)} N_{a(p)} \int_{a(p)}^{a(p)+1} \exp\{-M_{a(p)}(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt$$

$$+ p_{a(p)+1} N_{a(p)+1} \int_{a(p)+1}^{a(p)+2} \exp\{-M_{a(p)+1}(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt$$

$$+ \dots + p_{a(q)} N_{a(q)} \int_{a(q)}^{a(q)+1} \exp\{-M_{a(q)}(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots \dots \dots (6)$$

p_a ; a 才魚の群成熟度

ここで $a(p)$ 才初期の資源尾数 $N_{a(p)}$ は,

$a(p) = a(r)$ ならば, $N_{a(p)} = 1$

$a(p) > a(r)$ ならば, $N_{a(p)} = \exp\{-\sum_{n=a(r)}^{a(p)-1} M_n\}$

$a(p)$ 才をこえる年令群のそれ $N_{a(p)+i}$ は,

$N_{a(p)+i} = N_{a(p)+i-1} \exp\{-(M_{a(p)+i-1})\}$, $i = 1, 2, \dots, a(q) - a(p)$

である。

b) 漁業が存在する場合の産卵量指数

分子に当る漁獲されているストックの産卵量指数 $S(F, t_c, t_d)$ のうち, a_c 才の相対的生体量 (ここでは (1) 式のパラメータ w_∞ を省いて計算する。) を計算する場合には, 漁獲開始時刻 t_c が必ずしも a_c 才の初めではないから, 自然死亡だけが働いている $t_c - a_c$ の期間と漁獲死亡が加わった $a_c - t_c + 1$ の期間とを分ける必要がある。したがって, $S(F, t_c, t_d)$ は, 漁獲の全くない $a_c - 1$ 才以前, t_c を含む a_c 才, および $a_c + 1$ 才以降の 3 期間における産卵量指数 S_1, S_2, S_3 の和となる (式 7)。なお, 各期間のそれは式 (8), (9), (10) で示される。

1) $S(F, t_c, t_d) = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (7)$

2) 漁獲開始年令前の産卵量指数, S_1

漁獲係数に関係なく, t_c のみによって定まる。

$a_c = a_r$ ならば $S_1 = 0$,

$a_c > a_r = a_p$ ならば

$$S_1 = \sum_{a=a(r)}^{a(c)-1} p_a \exp\{-\sum_{n=a(r)}^{a-1} M_n\} \int_a^{a+1} \exp\{-M_a(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots \dots \dots (8)$$

である。

3) 漁獲開始年令 a_c 才における産卵量指数, S_2

自然死亡のみによって減耗している t_c 以前と, 漁獲によっても減少するそれ以後とに分れる。

$a_c = a_r$ ならば,

$$S_2 = p_{a(c)} \left[\int_{a(c)}^{t(c)} \exp\{-M_{a(c)}(t-a_c)\} \{g(t)\}^3 dt \right.$$

$$\left. + \exp\{-M_{a(c)}(t_c - a_c)\} \int_{t(c)}^{a(c)+1} \exp\{-(M_{a(c)} + F)(t - t_c)\} \{g(t)\}^3 dt \right] \dots \dots \dots (9)$$

$a_c > a_r = a_p$ ならば

$$S_2 = p_{a(c)} \exp\{-\sum_{n=a(r)}^{a(c)-1} M_n\} \left[\int_{a(c)}^{t(c)} \exp\{-M_{a(c)}(t-a_c)\} \{g(t)\}^3 dt \right.$$

$$+ \exp\{-M_{a(c)}(t_c - a_c)\} \int_{t(c)}^{a(c)+1} \exp\{-(M_{a(c)}+F)(t-t_c)\} \{g(t)\}^3 dt \dots (9-2)$$

4) 漁獲開始翌年 $a_c + 1$ 才以降における産卵量指数, S_3

$a_c = a_r$ ならば

$$S_3 = \exp\{-M_{a(c)} - F(a_c - t_c + 1)\} \{p_{a(c)} \cdot \int_{a(c)+1}^{a(c)+2} \exp\{-(M_{a(c)+1}+F)(t-a_{(c)+1})\} \{g(t)\}^3 dt + \sum_{a=c+2}^{a(d)} p_a \exp\{-\sum_{n=a(c)+1}^{a(d)-1} Z_n\} \int_a^{a+1} \exp\{-(M_a+F)(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots (10-1)$$

$a_c > a_r = a_p$ ならば

$$S_3 = \exp\{-\sum_{a=a(r)}^{a(c)-1} M_a - M_{a(c)} - F(a_c - t_c + 1)\} \left\{ \sum_{a=a(c)+1}^{a(d)} p_a \exp\left\{-\sum_{n=a(c)+1}^{a(d)-1} Z_n\right\} \int_a^{a+1} \exp\{-(M_a+F)(t-a)\} \{g(t)\}^3 dt \dots (10-2)$$

ただし、積分部分は F, M, t が変わるだけであって式(5)で計算できる Q である。

産卵量指数 S を求めるためのプログラムおよびデータシートの記入方法は付録2に示した。

1. 5. 等量線を描くための補間

ところで、 y に加入尾数 R をかければ漁獲量が、 $S(F, t_c, t_a)$ を $S(F=0)$ で割れば $r. s. f.$ が簡単に求まることはいうまでもない。この数値を用いて漁獲量なり、相対産出卵数の等量線を描くには、作表された個々の数値に対して計算をする必要がない。

加入当り漁獲量の最大値 y_{max} に加入量 R をかけて、予測される漁獲量の最大値 Y_{max} を計算し、それ以下の任意の漁獲量を選び、 $y = Y/R$ とおけば、 y を生産する平均漁獲開始年令 t_c 、漁獲係数 F の座標を運ねることによって等漁獲量曲線が描ける。 t_c, F の組み合わせは無数にあるので $X-Y$ プロッター等が利用できるれば便利である。

しかし、漁獲開始年令 t_c および漁獲係数 F のきざみ $\Delta t_c, \Delta F$ が 0.1 という細かい値なので、もっとも簡単な2点間の直線的比例配分による補間でも実用上は満足できる。それによると、 t_c を i 列、 F を j 行として、 i 列の t_{ci} 上で y を満足する $F_i(y)$ を求めるには、 F_j を次第に大きくしてゆき、 y をはさむ2つの y を $y_{i,j}, y_{i,j+1}$ とすると、

$$F_i(y) = F_j + \frac{\Delta F (y - y_{i,j})}{y_{i,j+1} - y_{i,j}} \dots (11-1)$$

によって $F_i(y)$ が求まる。1つの漁獲開始年令 t_{ci} に対して $F_i(y)$ の値は全くないか、1個か、または2個である。

同様にして1つの漁獲係数 F_j 上で y を満足する $t_{cj}(y)$ 点も

$$t_{cj}(y) = t_{ci} + \frac{\Delta t_c (y - y_{i,j})}{y_{i+1,j} - y_{i,j}} \dots (11-2)$$

として求められる。

参考までに簡単な卓上計算機、SEIKO-301による補間プログラムを付録3に示しておく。相対産出卵数の等量線も $S(F=0)$ に任意の $r. s. f.$ をかけて、同様な方法でえられることは云うまでもない。

2. 計 算 例

近年資源の減少が憂慮されているミナミマグロについて計算を行った。林・新宮・久田(1972)は過去の報告および資料にもとずいて、年令別の自然死亡係数および群成熟度を求め(表1)、また、 $w_\infty = 206.3 \text{ kg}$ 、 $k = 0.14$ 、 $b = 1$ 、寿命 $a_q = a_d = 15$ としている。また林(未刊)らは最近1964年以降の5才初期の平均加入尾数を135万尾であると考えている。そこで $a_r = 5.0$ とおいて、漁獲開始時刻 t_c を5.0才から7.9才まで0.1才

表 1. ミナミマグロについて求められた年令別の自然死亡係数と群成熟度指数

Table 1. Estimates of natural mortality coefficient, M_a , and index of group maturity, p_a , of southern bluefin tuna at different ages.

年 令 age	～5才	6才	7才	8才	9～15才
自然死亡係数 M	0.2	0.2	0.2	0.6	1.0
群成熟度指数 p_a	0	0.2	0.8	1.0	1.0

林・新宮・久田 (1972) による。

After HAYASI, SHINGU and HISADA (1972).

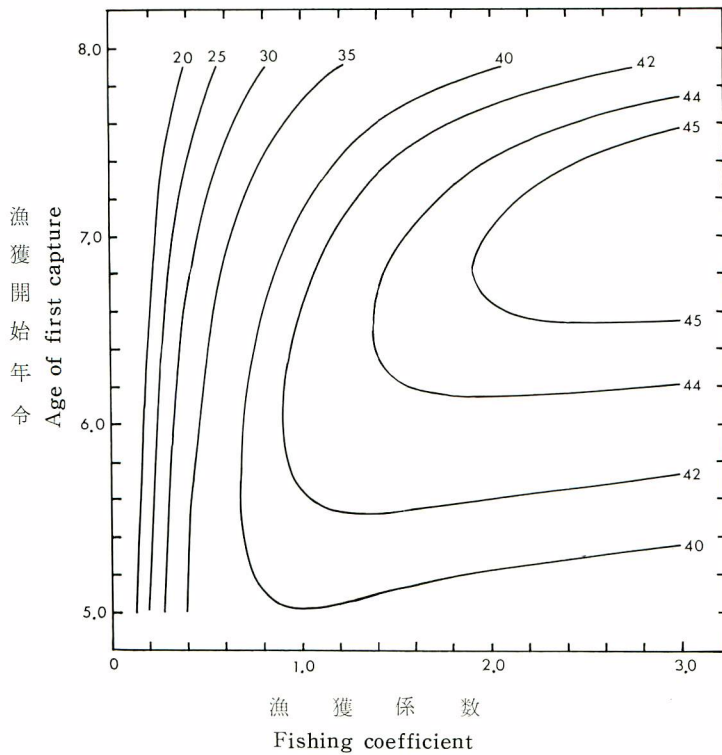


図 2. 漁獲開始年令および漁獲係数に対するミナミマグロの等漁獲量曲線、5才始めの加入135万尾の場合

Fig. 2. Isopleth diagram of calculated yield of southern bluefin tuna against age of first capture, ordinate, and fishing coefficient, abscissa.

Recruit at beginning of 5-age is 1,350,000 fish.

図中の数字は漁獲量計算値 (1000トン) を示す。

Numerals denote calculated yield in thousand tons.

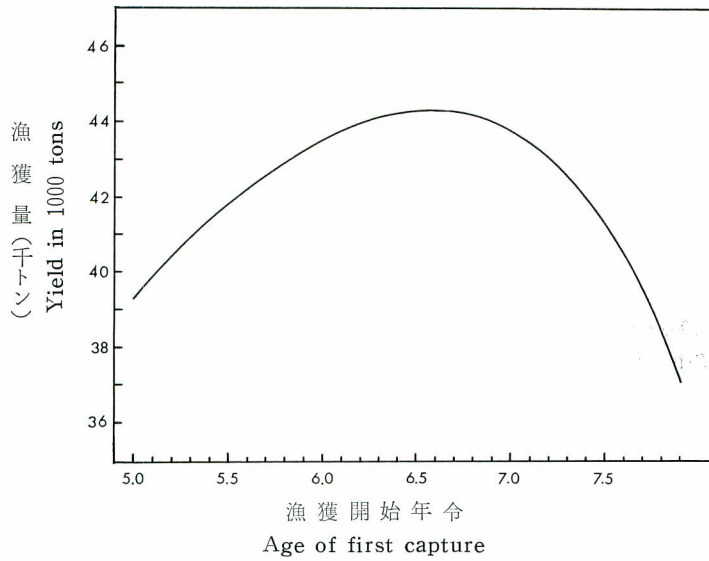


図 3. 漁獲係数1.5でとりつづけた場合のミナミマグロの漁獲開始年令と漁獲量計算値との関係
5才始めの加入135万尾の場合

Fig. 3. Calculated yield at different ages of first capture of southern bluefin tuna exploited at a fishing coefficient of 1.5.
Recruit at beginning of 5-age is 1,350,000 fish.

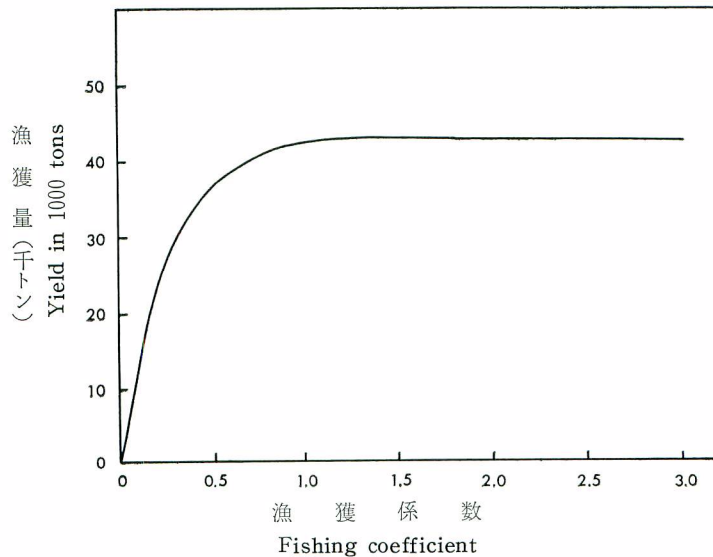


図 4. 5.8才からとりつづけた場合のミナミマグロの漁獲係数と漁獲量計算値との関係
5才始めの加入135万尾の場合

Fig. 4. Calculated yield at different fishing coefficients of southern bluefin tuna exploited at 5.8 age and onward.
Recruit at beginning of 5-age is 1,350,000 fish.

きざみで、漁獲死亡係数 F を 0 または 0.1 きざみで 3.0 まで変化させて計算を行った。それによる加入当り漁獲量を付表 1，加入当り産卵量指数を付表 2 に示す。

2. 1. 等漁獲量曲線

付表 1 の加入当り漁獲量 y_a に加入尾数をかけて漁獲死亡係数と漁獲開始年令とに対する等漁獲量曲線を描くと図 2 が得られる。

近年のミナミマグロに対する漁獲係数 $F=1.5$ 前後と推定されている(林未刊)。もし漁業が $F=1.5$ で継続して行われたときの漁獲開始年令と漁獲量との関係も簡単に得られる(図 3)。

また、逆に漁獲開始年令を固定して、漁獲量と漁獲死亡係数との曲線も容易に画けることは云うまでもない。たとえば、ミナミマグロの 1970, 1971 年の漁獲開始年令の推定値 5.8 才(藁科・久田, 未刊)に対する曲線を図 4 に示す。

2. 2. 等相対産出卵数曲線

付表 2 において、 $F=0$ の S は自然時の産卵量指数を示し、云うまでもなく、漁獲開始年令とは無関係であってその値は 0.430390 と一定数になっている。この値で産卵量指数 $S(F, t_c, t_d)$ を割れば、漁獲の影響を加味した相対産出卵数が得られるが、 $r.s.f.=0.5, 0.4, \dots$ 等を $S(F=0)$ にかけて、その値に対応する漁獲

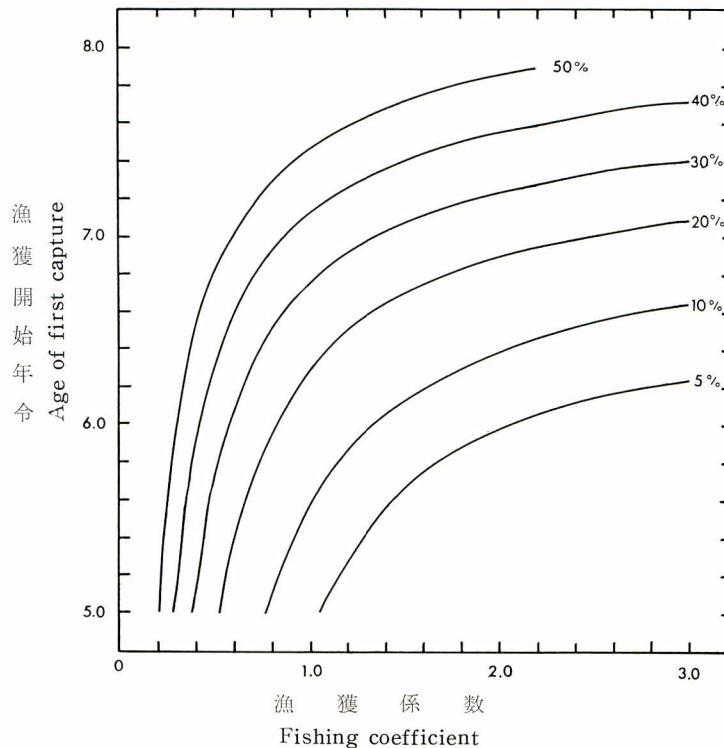


図 5. 漁獲開始年令および漁獲係数に対するミナミマグロの等相対産出卵数曲線

Fig. 5. Isopleth diagram of calculated relative stock fecundity in percent of southern bluefin tuna against age of first capture, ordinate, and fishing coefficient, abscissa.

開始年令と漁獲死亡係数との座標を連ねて画く方が簡便である。等相対産出卵数曲線を図5に示したがこれは当然のことながら林・新宮・久田(1972)の図7と一致しており、 $F=1.5$ を越えると、漁獲開始年令の僅かな変化で *r. s. f.* が急変する。

文 献

- BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT 1957. "On the dynamics of exploited fish populations." *U. K. Fish. Invest. Ser.* II, 19, 533 p.
- HAYASI S. 1968 "Preliminary analysis of the catch curve of the Pacific sardine, *sardinops caerulea* GIRARD" *U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull.* 66, (3), 587—598.
- 林 繁一・本間 操・鈴木治郎 1972, "大西洋のキハダ, ピンナガ資源の合理的利用に関する一つの提案" 遠洋水研報 (7), 71—112.
- 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.
- 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" *S. Series* (3), 97—114.
- 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" 遠洋水研報 (6), 63—88.
- 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.
- 1969, "同上—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". 日水会誌 35 (6), 537—548.
- RICKER, W. E. 1948, "Methods of estimating vital statistics of fish populations." *Ind. Univ. Publ., Sci.* 15, 101 p.
- RICKER, W. E. 1949, "Mortality rates in some little-exploited populations of freshwater fishes." *Amer. Fish Soc.*, 77, 114—128.
- 須田 明 1966, "北太平洋におけるピンナガの漁獲変動—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" 南海水研報 (24), 1—14.
- 田中昌一 1960, "水産生物の population dynamics と漁業資源管理" 東海水研報 (28), 1—200.
- TESTER, A. L. 1955, "Estimation of recruitment and natural mortality rates from age composition and catch data in British Columbia herring population." *J. Fish. Res. Bd. Can.* 12, 649—681.

付録 1. HITAC 8500 による加入量当り漁獲量の計算プログラム

Appendix 1. Fortran program of yield-per-recruit designed for HITAC 8500.

```

FOR131  EY100 SOURCE PROGRAM                                09/28/73
1      PROGRAM H8491
2 C    YIELD PER RECRUIT CALCULATION ,... (AUTHOR HONMA)
3 C
4      REAL K,B,M,WMAX,TCA,TCD,TR,AD
5      DIMENSION Y(31,100),M(16),TCAGE(100),NAME(20)
6 C
7 C    PARAMETER READ
8      READ(5,100)(NAME(I),I=1,20)
9      READ(5,101)(M(I),I=1,16)
10     READ(5,102)K,B,WMAX
11     READ(5,103)TCA,TCD
12     READ(5,103)TR,AD
13 C
14 C    CALCULATION
15     DO 5 I=1,31
16     DO 5 J=1,100
17     Y(I,J)=0.0
18     5 CONTINUE
19     DO 6 I=1,100
20     TCAGE(I)=0.0
21     6 CONTINUE
22     TCAD=TCD-TCA
23     MAXTC=TCAD*10.0+1.1
24 C
25     DO 10 JF=1,30
26     F=FLOAT(JF)/10.0
27     DO 10 JA=1,MAXTC
28     SM2=0.0
29     SM3=0.0
30     SZ=0.0
31     Y1=0.0
32     Y2=0.0
33     Y3=0.0
34     Y4=0.0
35 C
36     TC=TCA+FLOAT(JA)*0.1-0.1+0.000001
37     ITC=TC
38     AC=ITC
39     TC1=TC-AC
40     TC2=1.0-TC1
41     ITCMAE=TC-TR
42     ITCATD=AD-AC
43     Y1=WMAX*F
44 C
45     IF (ITCMAE) 40,40,50
46     50 DO 20 JM=1,ITCMAE
47     J1=FLOAT(JM)+TR-1.0
48     SM2=SM2+M(J1)
49     20 CONTINUE
50     40 J2=TC
51     SM3=TC1*M(J2)
52     Y2=EXP(-(SM2+SM3))
53     SZ=TC2*(M(J2)+F)
54     Y3=EXP(-SZ)
55 C
56     Z=M(J2)+F
57     C=TC
58     D=TC+TC2
59     QTC2=PR(B,K,Z,C,D)
60 C

```

```

61      Z=0.0
62      DO 30 JJ=1,ITCATO
63      J3=FLOAT(JJ)+AC
64      J4=J3-1
65      IF(JJ,EQ,1) GO TO 60
66      HOSEI=1.0
67      GO TO 70
68      60 HOSEI=0.0
69      70 Z=(M(J4)+F)*HOSEI+Z
70      C=J3
71      D=J3+1
72      Z1=M(J3)+F
73      QA=PR(B,K,Z1,C,D)
74      Y4=Y4+EXP(-Z)*QA
75      30 CONTINUE
76 C
77      Y(JF,JA)=Y1*Y2*(GTC2+Y3*Y4)
78      10 CONTINUE
79 C
80 C      PRINT
81      DO 94 JA1=1,MAXTC
82      TCAGE(JA1)=FLOAT(JA1)/10.0+TCA-0.1
83      94 CONTINUE
84 C
85      DO 95 JA2=1,MAXTC,5
86      JAM=MIN0(JA2+4,MAXTC)
87      WRITE(6,500)(NAME(I),I=1,20)
88      WRITE(6,501)K,B,WMAX,TR,AD,TCA,TCJ,(M(I),I=1,16)
89      WRITE(6,502)(TCAGE(JA3),JA3=JA2,JAM)
90      WRITE(6,503)
91      DO 90 JF2=1,30
92      FF=FLOAT(JF2)/10.0
93      WRITE(6,504) FF,(Y(JF2,J5),J5=JA2,JAM)
94      IF(MOD(JF2,5))91,91,90
95      91 WRITE(6,503)
96      90 CONTINUE
97      95 CONTINUE
98 C
99      100 FORMAT(20A4)
100     101 FORMAT(16F5.0)
101     102 FORMAT(3F10.0)
102     103 FORMAT(2F10.0)
103     500 FORMAT(1H1////1H0,20X,20A4)
104     501 FORMAT(1H0,35X,1HK,9X,1HB,8X,4HWMAX,7X,2HNTR,8X,2HAD,7X,3HTCA,7X,3H
105     1TCD/1H ,30X,7F10.4/1H0,30X,12HM(1-16AGE) =,16F4.1)
106     502 FORMAT(1H0,15X,1HF,7X,4HTC =,5(F5.1,14X))
107     503 FORMAT(1H )
108     504 FORMAT(1H ,10X,F6.1,2X,5(6X,F13.6))
109     STOP
110     END
111 C
112 C      FUNCTION SUBPROGRAM PR
113      FUNCTION PR(B,K,Z,C,D)
114      REAL K
115      TC3=D-C
116      ZK1=Z+K
117      ZK2=ZK1+K
118      ZK3=ZK2+K
119      EX01=B*EXP(-K*C)
120      EX02=EX01*EX01
121      EX03=EX02*EX01
122      EX10=1.0-EXP(-Z*TC3)
123      EX11=1.0-EXP(-ZK1*TC3)
124      EX12=1.0-EXP(-ZK2*TC3)
125      EX13=1.0-EXP(-ZK3*TC3)
126      PR=EX10/Z-3.0*EX01*EX11/ZK1+3.0*EX02*EX12/ZK2-EX03*EX13/ZK3
127      RETURN
128      END

```

データシートの書き方

Presentation of data sheet for yield-per-recruit.

Cooperation Center, Institute of ASSE

DATA SHEET		本間操	PAGE	OF
PROBLEM	加入当り漁獲量の計算		WRITTEN BY	
No.				
①	Y/R MINAMI-MAGURO: (1)			
	見出し(タイトル)			
②	$0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.2, 0.2, 0.2, 0.6, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0$ 1歳 2歳 3歳 4歳 5歳 6歳 7歳 8歳 9歳 10歳 11歳 12歳 13歳 14歳 15歳 16歳 年令別自然死亡係数			
③	$0.14, 1.0, 206.3$ k, b, w_{∞} 成長係数 死亡率(対数) 無限体長 $(b = e^{-k \cdot t_0})$			
④	$5.0, 7.9$ t_c, t_{lc} 漁獲開始年齢 漁獲終了年齢 漁獲開始年齢(対数)			
⑤	$5.0, 15.0$ t_r, t_{lr} 加入時刻 漁獲終了年令			

- ① Title.
- ② Natural mortality coefficients by age.
- ③ Growth coefficients, k , b and w_{∞} .
- ④ Range of ages of first capture.
- ⑤ Ages of recruit and last capture.

付表 1. 平均漁獲開始年令と漁獲係数に対するミナミマグロの加入当り漁獲量
Appendix table 1. Yield-per-recruit in Kg. of southern bluefin tuna
 against average age of first capture and fishing
 coefficient.

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

F	TC =	K	B	WMAX	TR	AD	TCA	TCD
		0.1400	1.0000	206,3000	5.0000	15.0000	5.0000	7,9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0								
	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4			
0.1	11,811926	11,663323	11,507738	11,345298	11,176126			
0.2	18,980438	18,826569	18,658539	18,474501	18,280533			
0.3	23,355255	23,256577	23,138168	23,000168	22,842514			
0.4	26,023285	25,999847	25,953201	25,883179	25,789581			
0.5	27,636047	27,689362	27,717392	27,719910	27,696503			
0.6	28,591003	28,714432	28,811676	28,882385	28,926071			
0.7	29,133820	29,317917	29,475754	29,606888	29,710678			
0.8	29,418198	29,653381	29,862579	29,045456	30,201218			
0.9	29,540756	29,818298	30,070450	30,296860	30,496689			
1.0	29,563217	29,875565	30,163208	30,425797	30,662598			
1.1	29,524597	29,865479	30,182419	30,475021	30,742615			
1.2	29,450150	29,814438	30,155502	30,472946	30,766113			
1.3	29,355438	29,739212	30,100204	30,438217	30,752686			
1.4	29,251099	29,650696	30,028381	30,383667	30,715775			
1.5	29,143265	29,556290	29,947815	30,317307	30,664337			
1.6	29,035904	29,460144	29,863220	30,244904	30,604446			
1.7	28,931366	29,365112	29,777969	30,169907	30,540146			
1.8	28,830872	29,272827	29,694214	30,094772	30,474152			
1.9	28,735336	29,184387	29,613007	30,021240	30,408340			
2.0	28,644867	29,100143	29,535095	29,949844	30,343842			
2.1	28,559723	29,020325	29,460861	29,881256	30,281174			
2.2	28,479507	28,944778	29,390274	29,815872	30,221024			
2.3	28,404066	28,873810	29,323563	29,753662	30,163361			
2.4	28,333023	28,806717	29,260468	29,694550	30,108521			
2.5	28,266510	28,743637	29,200912	29,638626	30,056320			
2.6	28,203674	28,684128	29,144638	29,585678	30,006699			
2.7	28,144760	28,627884	29,091400	29,535416	29,959579			
2.8	28,089111	28,575012	29,041290	29,487976	29,914963			
2.9	28,036453	28,524872	28,993805	29,443085	29,872589			
3.0	27,986862	28,477646	28,948837	29,400436	29,832291			

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

F	TC =	K	B	WMAX	TR	AD	TCA	TCD
		0.1400	1.0000	206,3000	5.0000	15.0000	5.0000	7,9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0								
	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9			
0.1	11,000340	10,818087	10,629493	10,434486	10,233812			
0.2	18,070709	17,847198	17,610123	17,359573	17,095718			
0.3	22,665161	22,468155	22,251480	22,015121	21,759125			
0.4	25,672211	25,530930	25,365601	25,175964	24,961929			
0.5	27,646835	27,570633	27,467484	27,337067	27,178970			
0.6	28,942230	28,930435	28,890167	28,820831	28,721954			
0.7	29,786514	29,833939	29,852249	29,840759	29,798767			
0.8	30,329254	30,428955	30,499573	30,540314	30,550385			
0.9	30,669327	30,814133	30,930283	31,016953	31,073242			
1.0	30,872879	31,056046	31,211243	31,337616	31,434235			
1.1	30,984436	31,199966	31,388321	31,548676	31,680069			
1.2	31,034332	31,277054	31,493484	31,682755	31,843979			
1.3	31,042938	31,308487	31,548569	31,762344	31,948990			
1.4	31,024475	31,309174	31,569199	31,803787	32,012085			
1.5	30,988510	31,289383	31,566238	31,818481	32,045242			
1.6	30,941696	31,256180	31,547348	31,814529	32,057053			
1.7	30,888489	31,214554	31,517868	31,797775	32,053741			
1.8	30,832031	31,167938	31,481674	31,772491	32,039963			
1.9	30,774277	31,118790	31,441345	31,741608	32,019028			
2.0	30,716782	31,068619	31,398926	31,707291	31,993271			
2.1	30,660278	31,018524	31,355560	31,670929	31,964386			
2.2	30,605436	30,969421	31,312241	31,633743	31,933716			
2.3	30,552673	30,921432	31,269455	31,596405	31,901993			
2.4	30,502014	30,875153	31,227783	31,559555	31,870193			
2.5	30,453552	30,830719	31,187424	31,523407	31,838516			
2.6	30,407410	30,788147	31,148483	31,488327	31,807434			
2.7	30,363586	30,747345	31,110977	31,454193	31,776855			
2.8	30,321671	30,709481	31,075134	31,421402	31,747299			
2.9	30,282013	30,671432	31,040833	31,389954	31,718765			
3.0	30,244156	30,636139	31,008026	31,359695	31,691193			

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

	K	R	WMAX	TR	AD	TCA	TCD
	0.1400	1.0000	206.3000	5.0000	15.0000	5.0000	7.9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0							
F	TC = 6.0	6.1	6.2	6.3	6.4		
0.1	10,027008	9,814399	9,596159	9,372427	9,143328		
0.2	16,818649	16,528519	16,225494	15,909702	15,581271		
0.3	21,483475	21,188156	20,873260	20,538727	20,184586		
0.4	24,723267	24,459747	24,171280	23,857620	23,518494		
0.5	26,992828	26,778152	26,534637	26,261734	25,958984		
0.6	28,592865	28,432922	28,241562	28,017990	27,761459		
0.7	29,725525	29,620117	29,481842	29,309677	29,102539		
0.8	30,528870	30,474747	30,387100	30,264755	30,106369		
0.9	31,098190	31,090652	31,049545	30,973602	30,861328		
1.0	31,500107	31,533966	31,534775	31,500977	31,431107		
1.1	31,781570	31,851761	31,889664	31,893646	31,862030		
1.2	31,976181	32,077911	32,148270	32,185669	32,188232		
1.3	32,107574	32,236710	32,335419	32,402100	32,435059		
1.4	32,193237	32,346024	32,469284	32,561615	32,621323		
1.5	32,245773	32,418716	32,563385	32,678055	32,761200		
1.6	32,274126	32,466630	32,627625	32,761826	32,865540		
1.7	32,285019	32,490642	32,669632	32,820740	32,942444		
1.8	32,283508	32,502060	32,694855	32,860687	32,998154		
1.9	32,273071	32,502777	32,707626	32,886276	33,037567		
2.0	32,256439	32,495865	32,711044	32,900940	33,064301		
2.1	32,235443	32,483353	32,707642	32,907333	33,081238		
2.2	32,211685	32,466843	32,699173	32,904711	33,090622		
2.3	32,186050	32,447845	32,686981	32,902832	33,094193		
2.4	32,159546	32,426880	32,672333	32,894623	33,093307		
2.5	32,132568	32,404999	32,655807	32,884064	33,089127		
2.6	32,105698	32,382446	32,637955	32,871567	33,082275		
2.7	32,078873	32,359726	32,619568	32,857712	33,073532		
2.8	32,052658	32,337158	32,600830	32,843002	33,063324		
2.9	32,027206	32,314819	32,581863	32,827713	33,052124		
3.0	32,002441	32,292999	32,563095	32,812256	33,040222		

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

	K	R	WMAX	TR	AD	TCA	TCD
	0.1400	1.0000	206.3000	5.0000	15.0000	5.0000	7.9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0							
F	TC = 6.5	6.6	6.7	6.8	6.9		
0.1	8,909012	8,669622	8,425302	8,176198	7,922442		
0.2	15,240344	14,807058	14,521576	14,144022	13,754524		
0.3	19,810822	19,417419	19,004410	18,571747	18,119415		
0.4	23,153702	22,762955	22,346039	21,902634	21,432419		
0.5	25,625809	25,261688	24,866028	24,439187	23,977478		
0.6	27,471115	27,146072	26,785431	26,388107	25,953049		
0.7	28,859344	28,578888	28,259888	27,900955	27,500488		
0.8	29,910660	29,676086	29,401077	29,083817	28,722366		
0.9	30,711151	30,521301	30,289963	30,014984	29,693970		
1.0	31,323303	31,175720	30,986206	30,752335	30,471420		
1.1	31,792999	31,684448	31,534103	31,339279	31,096970		
1.2	32,156190	32,081253	31,967026	31,808624	31,602798		
1.3	32,442251	32,391479	32,310181	32,185364	32,013565		
1.4	32,646301	32,634354	32,582901	32,488785	32,348450		
1.5	32,810837	32,824615	32,800034	32,733856	32,622406		
1.6	32,936669	32,973572	32,973068	32,932190	32,847153		
1.7	33,032958	33,089951	33,111053	33,092972	33,031967		
1.8	33,105515	33,180511	33,220856	33,223328	33,184189		
1.9	33,159714	33,250763	33,308289	33,329254	33,309891		
2.0	33,199554	33,304733	33,377625	33,415146	33,413727		
2.1	33,227982	33,345703	33,432251	33,484695	33,499451		
2.2	33,247514	33,376434	33,475113	33,540894	33,570313		
2.3	33,260117	33,398819	33,508423	33,586227	33,628891		
2.4	33,267130	33,414551	33,533890	33,622467	33,677124		
2.5	33,269913	33,425171	33,553116	33,651382	33,716858		
2.6	33,269318	33,431473	33,567169	33,674179	33,749451		
2.7	33,266085	33,434464	33,577118	33,691940	33,776108		
2.8	33,260886	33,434753	33,583633	33,705505	33,797623		
2.9	33,254120	33,432999	33,587418	33,715652	33,815079		
3.0	33,246231	33,429504	33,589050	33,722977	33,829010		

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

	K 0.1400	B 1.0000	WMAX 206,3000	TR 5,0000	AD 15,0000	TCA 5,0000	TCD 7,9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0							
F	TC = 7.0		7.1	7.2	7.3	7.4	
0.1	7.664181	7.401544	7.134679	6.863724	6.588799		
0.2	13.353224	12.940249	12.515726	12.079798	11.632554		
0.3	17.647369	17.155563	16.643951	16.112503	15.561087		
0.4	20.935074	20.410202	19.857452	19.276428	18.666111		
0.5	23.483139	22.954376	22.390411	21.790329	21.153107		
0.6	25.478989	24.964706	24.408844	23.809906	23.166275		
0.7	27.056870	26.568237	26.032730	25.448196	24.812286		
0.8	28.314560	27.858093	27.350403	26.788727	26.169922		
0.9	29.324387	28.903381	28.427750	27.894119	27.298523		
1.0	30.140457	29.756104	29.314682	28.812012	28.243423		
1.1	30.803802	30.455994	30.049316	29.579056	29.039612		
1.2	31.345856	31.033630	30.661392	30.223770	29.714493		
1.3	31.790833	31.512665	31.173859	30.768478	30.289627		
1.4	32.157700	31.911774	31.605011	31.231049	30.782257		
1.5	32.461365	32.245667	31.969360	31.625595	31.206100		
1.6	32.713486	32.526016	32.278427	31.963531	31.572418		
1.7	32.923523	32.762192	32.541611	32.254059	31.890213		
1.8	33.098801	32.961777	32.766388	32.504715	32.166946		
1.9	33.245621	33.130920	32.959045	32.721741	32.408768		
2.0	33.368774	33.274597	33.124557	32.910110	32.620773		
2.1	33.472061	33.396942	33.267212	33.074249	32.807205		
2.2	33.558960	33.501266	33.390350	33.217514	32.971603		
2.3	33.632156	33.590485	33.496948	33.342911	33.116882		
2.4	33.693680	33.666779	33.589371	33.452866	33.245697		
2.5	33.745514	33.732040	33.669647	33.549500	33.360062		
2.6	33.789108	33.788055	33.739456	33.634659	33.461899		
2.7	33.825790	33.836014	33.800308	33.709763	33.552689		
2.8	33.856445	33.877228	33.853317	33.776077	33.633804		
2.9	33.882248	33.912537	33.899582	33.834793	33.706467		
3.0	33.903732	33.942932	33.940018	33.886795	33.771530		

Y/R, MINAMIMAGURO, (1)

	K 0.1400	B 1.0000	WMAX 206,3000	TR 5,0000	AD 15,0000	TCA 5,0000	TCD 7,9000
M(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0							
F	TC = 7.5		7.6	7.7	7.8	7.9	
0.1	6.310042	6.027586	5.741549	5.452062	5.159243		
0.2	11.174136	10.704640	10.224179	9.732849	9.230747		
0.3	14.989635	14.398060	13.786218	13.153996	12.501247		
0.4	18.027588	17.358810	16.659744	15.929811	15.168375		
0.5	20.477783	19.763214	19.008255	18.211624	17.372025		
0.6	22.476273	21.738052	20.949615	20.108887	19.213577		
0.7	24.122559	23.376297	22.570602	21.702316	20.768036		
0.8	25.490738	24.747513	23.936264	23.052628	22.091919		
0.9	26.636887	25.904434	25.096085	24.206192	23.228531		
1.0	27.603897	26.887634	26.088287	25.198822	24.211426		
1.1	28.425110	27.728699	26.942764	26.058731	25.067032		
1.2	29.126770	28.452637	27.683167	26.808243	25.816437		
1.3	29.729523	29.079163	28.328293	27.465179	26.476425		
1.4	30.250000	29.624237	28.893387	28.044052	27.060776		
1.5	30.701538	30.100708	29.390778	28.556595	27.580612		
1.6	31.094986	30.519119	29.830536	29.012482	28.045212		
1.7	31.439270	30.888031	30.221039	29.419739	28.462173		
1.8	31.741592	31.214600	30.569122	29.784973	28.837891		
1.9	32.008102	31.504730	30.886000	30.113800	29.177765		
2.0	32.243790	31.763336	31.160263	30.410843	29.486191		
2.1	32.452866	31.994675	31.412231	30.680161	29.767181		
2.2	32.638901	32.202286	31.639923	30.925095	30.023956		
2.3	32.804901	32.388931	31.846298	31.148453	30.259216		
2.4	32.953354	32.557297	32.033890	31.352768	30.475510		
2.5	33.086472	32.709671	32.204849	31.540192	30.674789		
2.6	33.206146	32.847748	32.360977	31.712540	30.859024		
2.7	33.313904	32.973160	32.503967	31.871384	31.029648		
2.8	33.411118	33.087387	32.635147	32.018112	31.188019		
2.9	33.499069	33.191589	32.755814	32.153976	31.335464		
3.0	33.578705	33.286804	32.866989	32.280045	31.472946		

付録 2. HITAC 8500 による産卵量指数の計算プログラム

Appendix 2. Fortran program of indices of egg productions designed for HITAC 8500.

FOR131 EY100 SOURCE PROGRAM

09/22/73

```

1      PROGRAM HB435
2 C    RELATIVE STOCK FECUNDITY PER RECRUIT CALCULATION'... (AUTHOR HONMA)
3 C
4      REAL K,M
5      DIMENSION E(31,100),M(16),R(16),TCAGE(100),NAME(20)
6 C
7 C    PARAMETER READ
8      READ(5,100) (NAME(I),I=1,20)
9      READ(5,101) (M(I),I=1,16)
10     READ(5,101) (R(I),I=1,16)
11     READ(5,102) K,B,TCA,TC,D,TR,AD
12 C
13 C    CALCULATION
14     DO 5 I=1,31
15     DO 5 J=1,100
16     E(I,J)=0.0
17     5 CONTINUE
18     DO 6 I=1,100
19     TCAGE(I)=0.0
20     6 CONTINUE
21 C
22     TCAD=TC-D-TCA
23     MAXTC=TCAD*10.0+1.1
24 C
25     DO 10 JF=1,31
26     F=FLOAT(JF-1)/10.0
27     DO 10 JA=1,MAXTC
28     SM1=0.0
29     SM2=0.0
30     SM3=0.0
31     Y1=0.0
32     Y2=0.0
33     Y3=0.0
34 C
35     TC=TCA+FLOAT(JA)*0.1-0.1+0.000001
36     ITC=TC
37     AC=ITC
38     TC1=TC-AC
39     TC2=1.0-TC1
40     ITCMAE=TC-TR
41     ITCATD=AD-AC
42 C
43     IF(ITCMAE) 40,40,50
44     50 DD 20 JM=1,ITCMAE
45     J1=FLOAT(JM)+TR-1.0
46     SM2=SM2+M(J1)
47     J11=J1-1
48     IF(FLOAT(J11)-TR) 53,52,52
49     52 SM1=SM1+M(J11)
50     53 IF(R(J1).EQ.0.0) GO TO 20
51     C=J1
52     D=J1+1
53     Y1=Y1+PR(B,K,M(J1),C,D)*R(J1)*EXP(-SM1)
54     20 CONTINUE
55 C
56     40 J2=TC
57     SM3=M(J2)*TC1
58     IF(R(J2).EQ.0.0) GO TO 41
59     Y2=(PR(B,K,M(J2),TC-TC1,TC)+EXP(-SM3)*PR(B,K,M(J2)+F,TC,TC+TC2))*E
60     +XP(-SM2)*R(J2)

```

```

61 41 Z=0,0
62 IF(ITCATO) 43,43,42
63 42 DO 30 JJ=1,ITCATO
64 J3=JJ+ITC
65 J4=J3-1
66 IF(JJ,EQ,1) GO TO 60
67 HOSEI=1,0
68 GO TO 70
69 60 HOSEI=0,0
70 Z=(M(J4)+F)*HOSEI+Z
71 IF(R(J3),EQ,0,0) GO TO 30
72 C=J3
73 D=J3+1
74 Y3=Y3+EXP(-(SM2+M(J2)+F*TC2))*EXP(-Z)*PR(B,K,M(J3)+F,C,D)*R(J3)
75 30 CONTINUE
76 C
77 43 E(JF,JA)=Y1+Y2+Y3
78 10 CONTINUE
79 C
80 C PRINT
81 DO 94 JA1=1,MAXTC
82 TCAGE(JA1)=FLOAT(JA1)/10,0+TCA-0,1
83 94 CONTINUE
84 C
85 DO 95 JA2=1,MAXTC,5
86 JAM=MIN0(JA2+4,MAXTC)
87 WRITE(6,500) (NAME(I),I=1,20)
88 WRITE(6,501) K,B,TR,AD,TCA,TC,D,(M(I),I=1,16),(R(J),J=1,16)
89 WRITE(6,502) (TCAGE(JA3),JA3=JA2,JAM)
90 WRITE(6,503)
91 DO 90 JF2=1,31
92 FF=FLOAT(JF2-1)/10,0
93 WRITE(6,504) FF,(E(JF2,JJ),JJ=JA2,JAM)
94 IF(MOD(JF2,5)) 91,91,90
95 91 WRITE(6,503)
96 90 CONTINUE
97 95 CONTINUE
98 C
99 100 FORMAT(20A4)
100 101 FORMAT(16F5,0)
101 102 FORMAT(6F10,0)
102 500 FORMAT(1H1////1H0,20X,20A4)
103 501 FORMAT(1H0,35X,1HK,9X,1HB,9X,2HTR,8X,2HAD,8X,3HTCA,7X,3HTCD/1H ,30
104 +X,6F10,4/1H0,30X,12HM(1-16AGE) =,16F4,1/1H ,30X,12HR(1-16AGE) =,16
105 +F4,1)
106 502 FORMAT(1H0,15X,1HF,7X,4HTC =,5(F5,1,14X))
107 503 FORMAT(1H )
108 504 FORMAT(1H ,10X,F6,1,2X,5(6X,F13,6))
109 STOP
110 END
111 C
112 C FUNCTION SUBPROGRAM PR
113 FUNCTION PR(B,K,Z,C,D)
114 REAL K
115 TC3=D-C
116 ZK1=Z+K
117 ZK2=ZK1+K
118 ZK3=ZK2+K
119 EX01=B*EXP(-K*C)
120 EX02=EX01*EX01
121 EX03=EX02*EX01
122 EX10=1,0-EXP(-Z*TC3)
123 EX11=1,0-EXP(-ZK1*TC3)
124 EX12=1,0-EXP(-ZK2*TC3)
125 EX13=1,0-EXP(-ZK3*TC3)
126 PR=EX10/Z-3,0*EX01*EX11/ZK1+3,0*EX02*EX12/ZK2-EX03*EX13/ZK3
127 RETURN
128 END

```

データシートの書き方

Presentation of data sheet for indices of egg productions.

Computation Center, Institute of JUSE

DATA SHEET		本 間 操		PAGE	OF												
PROBLEM	相対産卵指数の計算				WRITTEN BY												
①	No.																
	1	R.S.F.: MINAMI-MAGURO. (1)															
	2																
	3	見出し(タイトル)															
②	5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	6	~~~~~															
	7	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳	7歳	8歳	9歳	10歳	11歳	12歳	13歳	14歳	15歳	16歳
	8	~~~~~															
	9	年令別自然死亡係数															
	10	~~~~~															
③	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	13	~~~~~															
	14	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳	7歳	8歳	9歳	10歳	11歳	12歳	13歳	14歳	15歳	16歳
	15	~~~~~															
	16	年令別群成熟度指数															
	17	~~~~~															
④	19																
	20	k	b	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	t_{10}	
	21	成長係数	発生時年齢	漁獲開始年齢	漁獲開始年齢	漁獲開始年齢	漁獲開始年齢	加入年齢	漁獲終了年齢								
	22	$(b = e^{-k \cdot t_0})$															
	23	~~~~~															
	24	~~~~~															
25	~~~~~																

- ① Title.
- ② Natural mortality coefficients by age.
- ③ Indices of group maturity by age.
- ④ Growth coefficients, k and b , range of ages of first capture and ages of recruit and last capture.

付表 2. 平均漁獲開始年令と漁獲係数に対するミナミマグロの産卵量指数
 Appendix table 2. Indices of egg productions of southern bluefin tuna
 against average age of first capture and fishing
 coefficient.

R,S,F, MINAMIMAGURO, (1)						
	K 0.1400	B 1.0000	TR 5.0000	AD 15.0000	TCA 5.0000	TCD 7.9000
	M(1-16AGE) = 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0					
	R(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.8 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0					
F	TC = 5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	
0.0	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390
0.1	0.305383	0.308452	0.311552	0.314683	0.317846	0.317846
0.2	0.220103	0.224549	0.229086	0.233713	0.238435	0.238435
0.3	0.160884	0.165763	0.170811	0.176013	0.181374	0.181374
0.4	0.119055	0.123914	0.128971	0.134235	0.139713	0.139713
0.5	0.089128	0.093698	0.098502	0.103552	0.108861	0.108861
0.6	0.067431	0.071600	0.076028	0.080729	0.085721	0.085721
0.7	0.051517	0.055253	0.059259	0.063555	0.068164	0.068164
0.8	0.039720	0.043028	0.046612	0.050494	0.054699	0.054699
0.9	0.030888	0.033796	0.036979	0.040462	0.044272	0.044272
1.0	0.024214	0.026760	0.029575	0.032685	0.036123	0.036123
1.1	0.019127	0.021351	0.023834	0.026605	0.029698	0.029698
1.2	0.015218	0.017158	0.019346	0.021812	0.024593	0.024593
1.3	0.012191	0.013883	0.015810	0.018005	0.020505	0.020505
1.4	0.009829	0.011306	0.013005	0.014959	0.017207	0.017207
1.5	0.007974	0.009264	0.010763	0.012505	0.014529	0.014529
1.6	0.006506	0.007635	0.008960	0.010515	0.012339	0.012339
1.7	0.005338	0.006327	0.007500	0.008890	0.010537	0.010537
1.8	0.004403	0.005271	0.006311	0.007555	0.009045	0.009045
1.9	0.003649	0.004413	0.005336	0.006453	0.007803	0.007803
2.0	0.003039	0.003712	0.004533	0.005537	0.006763	0.006763
2.1	0.002542	0.003136	0.003868	0.004772	0.005888	0.005888
2.2	0.002135	0.002660	0.003315	0.004130	0.005147	0.005147
2.3	0.001800	0.002266	0.002851	0.003589	0.004517	0.004517
2.4	0.001523	0.001937	0.002462	0.003130	0.003979	0.003979
2.5	0.001294	0.001661	0.002133	0.002739	0.003517	0.003517
2.6	0.001102	0.001429	0.001854	0.002404	0.003118	0.003118
2.7	0.000942	0.001234	0.001616	0.002117	0.002774	0.002774
2.8	0.000807	0.001068	0.001413	0.001870	0.002474	0.002474
2.9	0.000694	0.000927	0.001239	0.001656	0.002213	0.002213
3.0	0.000598	0.000807	0.001089	0.001470	0.001984	0.001984

R,S,F, MINAMIMAGURO, (1)						
	K 0.1400	B 1.0000	TR 5.0000	AD 15.0000	TCA 5.0000	TCD 7.9000
	M(1-16AGE) = 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0					
	R(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.8 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0					
F	TC = 5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	
0.0	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390
0.1	0.321040	0.324267	0.327526	0.330818	0.334142	0.334142
0.2	0.243251	0.248165	0.253179	0.258293	0.263511	0.263511
0.3	0.186898	0.192589	0.198455	0.204499	0.210726	0.210726
0.4	0.145415	0.151349	0.157526	0.163955	0.170646	0.170646
0.5	0.114443	0.120310	0.126479	0.132963	0.139781	0.139781
0.6	0.091022	0.096651	0.102627	0.108973	0.115712	0.115712
0.7	0.073106	0.078407	0.084092	0.090189	0.096729	0.096729
0.8	0.059255	0.064190	0.069536	0.075328	0.081602	0.081602
0.9	0.048441	0.053003	0.057995	0.063456	0.069432	0.069432
1.0	0.039922	0.044120	0.048760	0.053889	0.059556	0.059556
1.1	0.033152	0.037006	0.041310	0.046113	0.051475	0.051475
1.2	0.027729	0.031264	0.035250	0.039745	0.044812	0.044812
1.3	0.023352	0.026594	0.030286	0.034490	0.039278	0.039278
1.4	0.019793	0.022768	0.026189	0.030125	0.034651	0.034651
1.5	0.016880	0.019612	0.022786	0.026473	0.030758	0.030758
1.6	0.014480	0.016992	0.019941	0.023401	0.027461	0.027461
1.7	0.012490	0.014804	0.017547	0.020799	0.024653	0.024653
1.8	0.010829	0.012965	0.015522	0.018583	0.022248	0.022248
1.9	0.009436	0.011410	0.013798	0.016685	0.020177	0.020177
2.0	0.008261	0.010089	0.012323	0.015052	0.018384	0.018384
2.1	0.007263	0.008961	0.011055	0.013638	0.016825	0.016825
2.2	0.006413	0.007991	0.009958	0.012408	0.015462	0.015462
2.3	0.005685	0.007155	0.009005	0.011334	0.014265	0.014265
2.4	0.005058	0.006430	0.008174	0.010391	0.013209	0.013209
2.5	0.004515	0.005798	0.007445	0.009559	0.012274	0.012274
2.6	0.004044	0.005245	0.006803	0.008823	0.011442	0.011442
2.7	0.003633	0.004760	0.006235	0.008168	0.010699	0.010699
2.8	0.003274	0.004331	0.005731	0.007583	0.010033	0.010033
2.9	0.002957	0.003952	0.005282	0.007059	0.009433	0.009433
3.0	0.002678	0.003615	0.004880	0.006587	0.008892	0.008892

本 間 操

R,S,F, MINAMIMAGURO, (1)

F	TC =				
	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4
	K 0.1400 B 1.0000 TR 5.0000 AD 15.0000 TCA 5.0000 TCD 7.0000 M(1-16AGE) = 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 R(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.8 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0				
0.0	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390
0.1	0.371389	0.374739	0.377990	0.381142	0.384192
0.2	0.325030	0.330828	0.336477	0.341974	0.347314
0.3	0.287951	0.295562	0.303005	0.310273	0.317358
0.4	0.257834	0.266805	0.275605	0.284226	0.292659
0.5	0.233041	0.243040	0.252879	0.262545	0.272027
0.6	0.212389	0.223172	0.233810	0.244290	0.254598
0.7	0.195005	0.206389	0.217647	0.228764	0.239727
0.8	0.180234	0.192082	0.203822	0.215441	0.226925
0.9	0.167577	0.179783	0.191900	0.203917	0.215817
1.0	0.156648	0.169130	0.181544	0.193876	0.206111
1.1	0.147144	0.159842	0.172487	0.185070	0.197574
1.2	0.138827	0.151691	0.164519	0.177300	0.190022
1.3	0.131505	0.144497	0.157468	0.170408	0.183305
1.4	0.125024	0.138114	0.151196	0.164262	0.177301
1.5	0.119256	0.132422	0.145592	0.158758	0.171911
1.6	0.114101	0.127323	0.140561	0.153806	0.167050
1.7	0.109471	0.122736	0.136025	0.149332	0.162650
1.8	0.105296	0.118593	0.131921	0.145276	0.158653
1.9	0.101516	0.114836	0.128194	0.141586	0.155009
2.0	0.098082	0.111418	0.124797	0.138217	0.151676
2.1	0.094951	0.108297	0.121691	0.135132	0.148619
2.2	0.092087	0.105438	0.118843	0.132299	0.145806
2.3	0.089459	0.102813	0.116223	0.129689	0.143212
2.4	0.087040	0.100394	0.113807	0.127280	0.140814
2.5	0.084808	0.098140	0.111574	0.125049	0.138591
2.6	0.082743	0.096091	0.109503	0.122980	0.136526
2.7	0.080827	0.094171	0.107580	0.121056	0.134603
2.8	0.079046	0.092385	0.105790	0.119263	0.132809
2.9	0.077386	0.090720	0.104119	0.117589	0.131133
3.0	0.075836	0.089164	0.102558	0.116022	0.129563

R,S,F, MINAMIMAGURO, (1)

F	TC =				
	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9
	K 0.1400 B 1.0000 TR 5.0000 AD 15.0000 TCA 5.0000 TCD 7.0000 M(1-16AGE) = 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 R(1-16AGE) = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.8 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0				
0.0	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390	0.430390
0.1	0.387139	0.389983	0.392720	0.395350	0.397872
0.2	0.352493	0.357508	0.362355	0.367029	0.371526
0.3	0.324255	0.330955	0.337453	0.343741	0.349812
0.4	0.300893	0.308919	0.316728	0.324309	0.331652
0.5	0.281315	0.290395	0.299256	0.307885	0.316269
0.6	0.264723	0.274649	0.284362	0.293849	0.303093
0.7	0.250521	0.261131	0.271542	0.281737	0.291699
0.8	0.238258	0.249425	0.260410	0.271194	0.281760
0.9	0.227587	0.239210	0.250649	0.261947	0.273024
1.0	0.218235	0.230233	0.242087	0.253780	0.265294
1.1	0.209987	0.222294	0.234479	0.246524	0.258411
1.2	0.202672	0.215235	0.227696	0.240040	0.252248
1.3	0.196148	0.208924	0.221618	0.234216	0.246703
1.4	0.190302	0.203255	0.216146	0.228962	0.241690
1.5	0.185041	0.198140	0.211197	0.224200	0.237139
1.6	0.180287	0.193508	0.206705	0.219849	0.232991
1.7	0.175973	0.189296	0.202611	0.215914	0.229197
1.8	0.172046	0.185453	0.198869	0.212290	0.225715
1.9	0.168459	0.181925	0.195436	0.208960	0.222510
2.0	0.165172	0.178706	0.192278	0.205891	0.219550
2.1	0.162151	0.175732	0.189364	0.203054	0.216810
2.2	0.159368	0.172987	0.186669	0.200425	0.214267
2.3	0.156796	0.170446	0.184171	0.197983	0.211901
2.4	0.154414	0.168089	0.181849	0.195710	0.209695
2.5	0.152204	0.165897	0.179686	0.193589	0.207634
2.6	0.150147	0.163856	0.177668	0.191607	0.205704
2.7	0.148230	0.161949	0.175780	0.189750	0.203894
2.8	0.146439	0.160166	0.174012	0.188007	0.202192
2.9	0.144763	0.158496	0.172353	0.186369	0.200591
3.0	0.143193	0.156927	0.170793	0.184827	0.199081

付録 3. 卓上計算機セイコー 301 による 2 点間の補間プログラム

Appendix 3, Program for Interpolation between two values calculated by a desk-top-computer SEIKO-301.

SEIKO 301

● プログラム ()

D = 3 ~

1973 年 10 月 / 日 No. _____ / 作成

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CA	E	M ₁	E	#	M ₂	CK	J	E	M ₃	E	=	R ₃	-	M ₄	E	#	M ₅	R ₁	R ₃
/	X	R ₂	÷	R ₄	=	R ₅	+	=	#	#	(a)	1	(a)	J	/	/	/	/	/
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96				

()	: : : : : : : : : :	F _j または t _{cj}	M ₅
()	: : : : : : : : / :	y _{i,j+1} - y_{i,j} または y_{i+1,j} - y_{i,j}}}	M ₄
()	: : : : : : : : : :	y _{i,j}	M ₃
()	: : : : : : : : / :	ΔF または Δt _c	M ₂
()	: : : : : : : : : :	y	M ₁
()	: : : : : : : : / :		MΣ

操作手順

- 1 AUTO でプログラムカード ENT する。
- 2 CA を押す。
- 3 y, ΔF (または Δt_c) を ENT する。
- 4 y_{i,j}, y_{i,j+1} (または y_{i+1,j}}), F_{j} を ENT する。}}}
- 5 F_{i}(y), (または t_{cj}(y)) が印字される。}}
- 6 y, ΔF (または Δt_c) が変わらず続けて計算をするときは, 4, 5 をくり返す。
- 7 新たな y, ΔF (または Δt_c) が変るときは, 2 以降をくり返す。