

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*

鈴木 治 郎

(遠洋水産研究所)

Comparison of Growth Parameters Estimated for the Yellowfin Tuna in the Pacific Ocean

Ziro SUZUKI

Synopsis

There are a number of growth studies on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (BONNATERRE), in the Pacific Ocean. Almost all the recent works published after 1950 are found in fairly good accordance with each other in the lengths estimated for the ages of the exploitable phase. Nevertheless, sets of parameters in the BERTALANFFY's growth equation appear quite different among these works.

The present investigation on the literatures shows a major cause of variation in the growth coefficient, k , and the asymptotic length, l_{∞} , is the technique of age determination (Table 1). Recent two growth studies based on reading of scale, YABUTA *et al.* (1960), and YANG *et al.* (1969), gave k around 0.35 per year, and l_{∞} between 190 cm and 200 cm for the fish taken from central and western Pacific. On the other hand, k was estimated around 0.60 and l_{∞} around 160 cm by YABUTA and YUKINAWA (1957, 1959), HENNEMUTH (1961) and DAVIDOFF (1963) who analysed length frequency data from various parts of the Pacific. Only MOORE's weight analysis (1951) provided a set of the growth parameters comparable to those by examination of hard tissues.

DIAZ (1963) proposed a new technique of length frequency analysis, in which the growth coefficient and asymptotic length were calculated as regression coefficients of modal increments of a group between two succeeding months on average modal lengths in the months. There are two sets of his calculations. One is based on all the monthly increments defined as "extended year class progressions". For the other set, called "atelic progressions", he excluded monthly modal increments over 20 cm and below minus 6 cm. Resultant growth parameters of the extended year class and the atelic progressions were found comparable with those by previous length frequency analyses and by scale ring counts, respectively.

Examination of the techniques of age determination gives a hypothetical reasoning for the discrepancy among estimates of growth parameters. The frequency analysis is based on an assumption that the modal lengths in samples represent those in the stock. Nevertheless, there is no guarantee that the assumption is valid for the whole length classes of the catch. It is probable that the long-lasting spawning season causes change of exploitable schools of the

* 1971年4月5日受理 遠洋水産研究所業績 第52号

same year class occurring in different seasons of the year. Actually, DIAZ wrote it difficult to trace modal progressions over several months.

Here it is to be noted that samples in a month are not always taken from the same schools with those sampled in the preceding months. If a fishery exploits selectively the fish within a certain length range, the samples from the catch represent larger member of young groups and smaller member of old groups. This kind of bias is less in studies on the hard tissues than on size composition as far as back calculations give correct average lengths at ring formation. On the other hand, it is not easy to correct the bias from series of length frequency data.

Analysis of length frequency data from biased samples may erroneously induce virtual curves sharper in young ages but flatter in old ages than actual growth (Fig. 4). Close examination of monthly increments, *e. g.* DIAZ's atelic progressions, may be helpful for eliminating such bias. Of course, unbiased length samples provide the curves close to the actual growth.

Lengths at ring formation of 439 yellowfin tuna from the western equatorial Pacific Ocean were calculated from unpublished measurements of scale reading by YABUTA *et al* (1960). The series of data constitutes an apparent LEE's phenomenon (Fig. 5), that was already observed in bigeye tuna (Table 4 and Fig. 8, YABUTA and YUKINAWA, 1963) and southern bluefin tuna (YUKINAWA, 1970).

Records of four tagged fish with duration of livery over one year were made available. Increments of lengths of the fish from release to recapture are close to the increments on growth curve based on scale reading, but smaller, especially for the fish recaptured within relatively short duration of livery, than the increments based on most of the length frequency analyses (Figs. 6, and 7).

SCHAEFER *et al.* (1961, p. 372) already found that the tagging data "indicate a considerably lower growth rate than that obtained from analysis of modal progressions of size-frequencies for fish of similar size". The relations between increments of tagged fish and of growth curves based on length frequency are expected for the samples exploited by size-selective fisheries (Fig. 4B).

KAMIMURA and HONMA (1963, p. 32) compiled length frequency data of the longline catch from the western and central Pacific Ocean during 1954 through 1955. Their data show that fish over 150 cm, the asymptotic length by YABUTA and YUKINAWA (1959) based on length frequency analysis of samples from the area, comprise about six percent of the whole measurements, and that the maximum length in the samples is 190 cm, comparable to the asymptotic length based on the scale reading (Table 1).

Examinations of the scale measurement, the tagging experiments and the length frequency data of longline catch suggest validity of the hypothetical explanation of difference in the growth parameters attributed to the techniques of age determination. It is likely to conclude, at least, for the yellowfin tuna inhabiting the central Pacific Ocean that the growth coefficient is around 0.35 per year, and the asymptotic length lies between 190 cm and 200 cm.

As to the eastern stocks, SCHAEFER *et al.* (1963) concluded it impossible to determine the age by observation of hard tissues, and then no study along this line was conducted there. However, there seems to be still room to re-examine the possibility of scale reading of yellowfin tuna taken from the eastern Pacific.

まえがき

太平洋で漁獲されるキハダの年令と成長についてはすでに数多くの研究報告がある。それらの結果を比較すると、漁獲対象魚については年令別体長にあまり差がみられないにもかかわらず、年令と体長の関係に BERTALANFFY の成長方程式をあてはめると、この方程式の3つのパラメーター、極限体長 L_{∞} 、成長係数 k 、発生時期 t_0 にはかなり大巾な変異がみられる。とくに成長係数の推定値に大きな差があることはこの係数が資源の開発年令の決定に深いつながりがあるだけに、資源管理を考える上にひとつの問題点となっている(林・本間 1969, p.73)。

このような問題があるので、数多くの研究が行なわれてきた太平洋のキハダの成長についても今後さらに資料を集めて追試を重ねると同時に、既往の研究に含まれる問題点を理論的に整理していく必要がある。本研究ではこのような考え方に基ついて、過去に行なわれた12編の論文についての研究結果を比較、検討した。

この研究を行なうにあたって終始指導をあたえられた遠洋水産研究所浮魚資源部須田明部長、林繁一第一研究室長、未発表資料を提供され貴重な示唆を与えられた海洋部行縄茂理技官、有益な助言を与えて下さった浮魚資源部本間操技官ならびにこの論文を校閲して下さいた木部崎修所長、福田嘉男企画連絡室長、山中一郎海洋部長に深謝の意を表する。

I 資料と方法

1. 検討材料としてとりあげた文献

ここでとりあげた文献は、年代順に木村(1932)、相川・加藤(1938)、MOORE(1951)、能勢他(1957)、藪田・行縄(1957, 1959)、藪田他(1960)、HENNEMUTH(1961)、DAVIDOFF(1963)、DIAZ(1963)、TAN *et al.*(1965)、YANG *et al.*(1969)の12編である。

年令査定の方法からみると上記の論文は鱗、椎体などの硬組織上に形成される年輪の観察と、漁獲物の体長または体重組成の解析とによるものにと大きくわけられる。またこれらの研究に用いられた標本は、はえなわ、竿釣、まきあみ等により西部太平洋から東部太平洋沿岸にわたる広い海域から採集されている(表1)。

このように、ここで検討の対象とした論文は、いろいろ異った条件のもとで行なわれた研究である。キハダの体長は標準体長を用いたと思われる相川・加藤(1938)の場合を除いて、普通尾叉長で測定されているので、本報では尾叉長を単に体長とよぶ。また木村(1932)が年令と体重との関係として推定した成長曲線を他の研究結果と比較するさいには TAN *et al.*(1965)が換算している年令と体長との関係で示した成長曲線を用いる。また MOORE(1951)の体長-年令関係は、もともと体重-年令関係としてもとめてからこの形におきかえたものであることを付記しておく。

2. 検討の方針

成長曲線のパラメーターの推定値にみられる変異の要因は大きく2通りに分けられるであろう。ひとつは系統群、資源量、環境条件のちがいによる成長の特性値自身の変異でこれらは現実には成長の海域間、年間の差に対応すると考えられる。他のひとつは、漁業の選択性や標本の処理方法に起因するみかけ上の変異である。たとえば漁具の選択性についてみると、漁獲物から得られた標本の体長組成にあらわれるモードの位置は海中におけるそれとはかならずしも一致していないように思われる。すなわち、はえなわ漁業では一般に50~60cm以下の小型のキハダをほとんど漁獲することができないので、この体長のキハダの中で成長の良い個体のみが選択的に漁獲されるため漁獲物の体長組成のモードの位置は海中のそれにくらべて過大に評価されるというようなことはありそうなことだと思われる。みかけ上の変異を生ぜしめるもうひとつのケースは年令査定に用いられた材料の差によって生ずるものである。

ここでは現在えられている成長曲線の変異が主として成長そのもののちがいによるものか、上述したように標本の偏りに基づくみかけ上のものかをつぎの手順で検討した。

Table 1.

Materials used in the twelve growth studies of the yellowfin tuna in the Pacific Ocean and estimates of the parameters in BERTALANFFY's equation

Author	Fishing gear	Method	Years for sampling	Sample size	Range of body length (cm)	Fishing ground	Growth parameters		
							k	l_{∞}	t_0
AIKAWA and KATO (1938)	—	reading of centra	—	6	—	—	—	—	
NOSE <i>et al.</i> (1957)	mainly longline	scale reading	1952-1953	300	100-140	Pacific (40°N-10°S)	—	—	
YABUTA <i>et al.</i> (1960)	longline	scale reading	1956-1959	1,000	70-140	Pacific (40°N-30°S, west of 180°)	0.33	190	0
TAN <i>et al.</i> (1965)	longline	reading of centra	1962-1963	170	—	Pacific (0°-10°N, 155°-175°E)	—	—	—
YANG <i>et al.</i> (1969)	longline	scale reading	1965	200	60-140	Pacific (3°-33°N, 133°-270°E)	0.36	195	0.27
KIMURA (1932)	set net	weight frequency analysis	1924-1931	200	100-120	Suruga Bay (Pacific coast of Japan)	—	—	—
MOORE (1951)	mainly longline	weight frequency analysis	1948-1949	5,000	70-120	waters adjacent to Hawaii	0.44	192	0.22
YABUTA and YUKINAWA (1957)	longline and pole-and-line	length frequency analysis	1953-1955	50,000	30-150	Pacific coast of Japan	0.55	168	0.35
YABUTA and YUKINAWA (1959)	longline	"	1950-1957	110,000	80-150	Pacific (12°N-5°S, 130°-180°E)	0.66	150	0.40
HENNEMUTH (1961)	mainly pole-and-line	"	1954-1956	—	70-140	western coast of North America (IATTC region)	0.60	169	0.83
DAVIDOFF (1963)	pole-and-line and purse seine	"	1951-1956	—	80-140	"	0.60	167	0.83
DIAZ (1963)	pole-and-line	increment technique (atelic)	1951-1956	—	80-140	western coast of America (entire IATTC region)	0.45	180	—
"	"	increment technique (extended year class)	"	—	"	"	0.66	167	—
"	"	increment technique (atelic)	"	—	"	western coast of North America (IATTC region)	0.36	214	—
"	"	increment technique (extended year class)	"	—	"	"	0.70	166	—

1) 各論文に記載されている年令別体長を図上で比較する。年令—体長関係がいくつかのグループに類型化できるなら、各論文の記述内容を吟味して各グループの共通の特徴をひき出すとともに、問題が多いと思われるものについては本論文での討議を保留する。

2) 上述のチェックを経た研究結果を用いて、同じ時間と体長の単位で成長係数 k と極限体長 l_{∞} とを求める。

これらのパラメーターの変動要因が 1) 海域, 2) 成長の年変動, 3) 漁法, 4) 年令査定の方法等の差に関連しているかどうかを調べる。もし海域や成長の年変動に関連しているようであれば、成長の本質的な変異があるはずであり、漁法や年令査定の方法に関連しているものであれば成長の変異は標本の偏りによるみかけ上のものであると考える。

3. 成長方程式の比較に必要な準備

各論文を研究年代別にみると、成長曲線の表現の方法は大きくわけて2つある。木村(1932)や相川・加藤(1938)といった初期の研究では、ある年令における平均体重や平均体長だけが経験的に示されている。次にBERTALANFFYの成長方程式が水産資源研究に導入され始めた1950年代末期になると成長をこの式で示した論文が現われる。もっとも一部の論文ではWALFORD(1946)がこの方程式にたいする適合度を調べるために提案した定差図と、それによって求めた極限体長が示されているのみである。BERTALANFFYの方程式に含まれる係数が原著者自身によって求められている場合にはその値をそのまま用いることができるが、そうでない場合には記載されている年令別平均体長を用いてこれらの係数の値を求め、その結果を示した。ただしいずれの場合でも体長をcm、時間は年であらわした。

BERTALANFFYの成長方程式に統一した理由は各著者の研究結果の比較を容易にすること、この方程式のパラメーターにはそれなりの生物学的意義が想定でき*、しかも過去にキハダの成長を数量的にあつかった研究者はもっぱらこの成長方程式を用いてきたことにある。

ここではBERTALANFFYの成長方程式を次のようにあらわす。

$$l_t = l_{\infty} [1 - \exp\{-k(t - t_0)\}] \dots\dots\dots(1)$$

l_t : 時刻 t における体長 (cm)

l_{∞} : 計算上の極限体長 (cm)

k : 年成長係数

t_0 : 体長0のときのみかけ上の時刻

式(1)の k , l_{∞} , t_0 は吉原(1956)が示した手順で求めた。

ただし t_0 は実際の産卵期と一致するとは限らないし、もともとBERTALANFFYの成長方程式では発生初期の成長を正しくあらわすことは困難であるので、論議の対象からは除いた。

4. 計算体長

キハダでは鱗長は通例体長に対して直線的に増加するが、その回帰直線は原点を通らないのでFRASER(1916)の式によって n 番目の輪紋が生じたときの体長を計算した(式2)。

$$l_n = (r_n/R)(l-d) + d \dots\dots\dots(2)$$

l_n : n 番目の年輪が生じた時の計算体長 (cm)

l : 標本の実測体長 (cm)

r_n : 鱗の焦点から n 番目の年輪までの長さ (mm)

R : 実測輪径, つまり鱗の焦点から鱗縁までの長さ (mm)

d : 計算上の鱗発生時の体長 (cm)

* BERTALANFFYの成長方程式の基礎となっている同化速度が体重の2/3乗に比例するという前提は、すべての魚で満足されるわけではない(WEINBERG, 1956)。この問題についてはさらに検討を必要とするであろう。

II 結 果

1. 成長曲線の比較

この研究でとりあげた 12 編の研究報告は体長,あるいは体重組成を用いて行った研究と,硬組織上に生ずる年令形質を用いたものとの2大別される。

体長または体重組成を解析した研究報告として木村 (1932), MOORE (1951), 藪田・行縄 (1957, 1959), HENNEMUTH (1961), DAVIDOFF (1963), DIAZ (1963) の7編をあげることができる。DAVIDOFF (1963) の得た成長曲線は HENNEMUTH (1961) のそれとほとんど同じである。したがって DAVIDOFF の成長曲線を除くこれら6編の論文に記載された年令別体長を同時に示すと,木村 (1932) のあたえた成長曲線のみが著しく他からはずれる (図1)。

また,硬組織の観察によって年令を査定した相川・加藤 (1938), 能勢他 (1957), 藪田他 (1960), TAN *et*

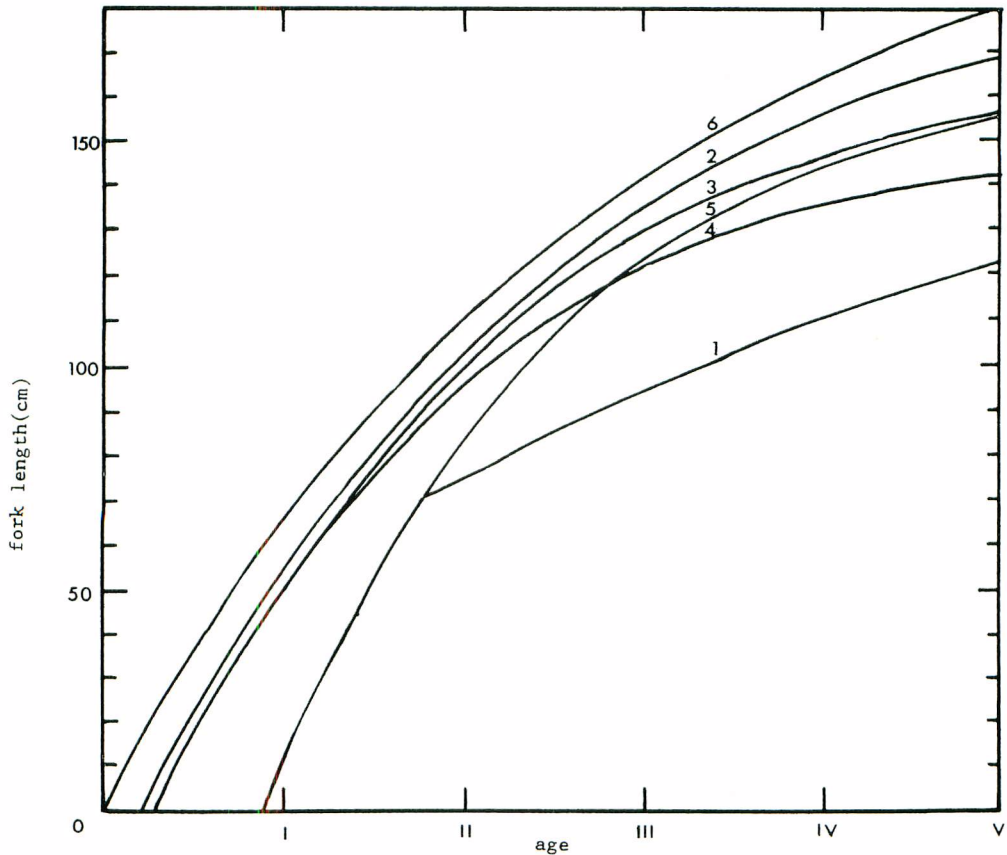


Fig. 1. Growth curves based on modal progression.

1. KIMURA (1932), 2. MOORE (1951), 3. YABUTA and YUKINAWA (1957), 4. YABUTA and YUKINAWA (1959), 5. HENNEMUTH (1961), 6. DIAZ (1963)

The growth curves were drawn so as to originate from t_0 estimated by the respective authors except KIMURA (1932) and DIAZ (1963). KIMURA's curve, originally given in body weight regardless the spawning season, was converted to fork length at respective age by TAN *et al.* (1965). DIAZ's curve was drawn here on the assumption that t_0 , originally not given, as zero.

al. (1965), YANG *et al.* (1969) の5編の論文についてみると、相川・加藤および能勢他による成長曲線はその他の3論文の結果に比べて極端に成長が悪い(図2)。

木村、相川・加藤、能勢他は他の研究者よりも早い時代に、つまり、資源量が相対的に大きかった時代に標本をとっているのも、もし仮に密度効果が成長を抑制するというようなことがあるとすれば、比較的小さい年齢別平均体長を与えるかもしれない。しかし、たとえば満3才魚の体長についてみると、他の研究者の推定値100~120 cm に比べて、上記3者の論文では、それは60~70 cm にすぎず、仮に密度効果による影響があるとしてもその差はあまりにも大きい。おそらく初期の研究とそれ以後の研究とのあいだに根本的な手法上の差があることを示唆していると思われる。

まず木村(1932)の研究では200尾の体重測定値が扱われたにすぎない。相川・加藤(1938)の報告ではわずかに6尾の椎体が観察されたにすぎず、さらにその年輪の形成期が考察されていない。これら2編の論文では、取扱われた標本数が少ないという問題があるのみでなく、推定された年間成長量は、後述される標識放流というような実験結果とも著しくいちがう。能勢他(1957)の研究では第4, 6, 7, 8, 9輪に対する計算体長が、体長組成に現われるモードに対応していることから、輪が年に1つずつ形成されるとみなしている。しかし NOSE *et al.* (1955 p.17) によると、年輪が年に2個以上形成されるという可能性も示唆されている。したがって、能勢他が読んだ輪はかならずしも年一回形成されたものとはいいい切れない。

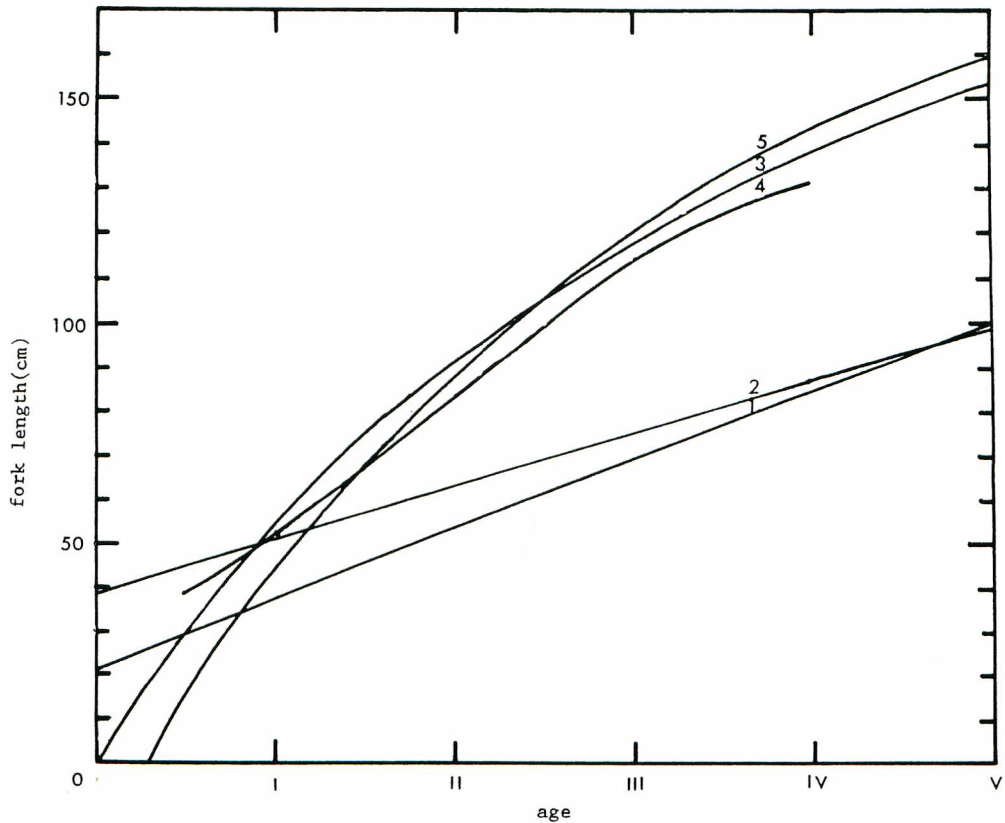


Fig. 2. Growth curves based on examination of hard tissues.

1. AIKAWA and KATO (1938), 2. NOSE *et al.* (1957), 3. YABUTA *et al.* (1960),
4. TAN *et al.* (1965), 5. YANG *et al.* (1969)

The curves are given in fork length except that by AIKAWA and KATO (1938) who seemed to have measured the fish by standard length.

初期に行なわれた木村 (1932), 相川・加藤 (1938), 能勢他 (1957) の研究には, 以上のような問題点が未解決のまま残されている。したがって以下の考察では, 一応これら 3 編の論文についての検討を保留し, 残り 9 編を扱うことにする。

2. BERTALANFFY の成長方程式におけるパラメーター

9 編の論文に示された 11 の成長曲線のパラメーターの推定値には大巾な変異がみられ, 成長係数は 0.25~0.70, 極限体長は 150~214 cm の範囲にわたっている (表 1)。計算の過程からも推察されるように成長係数と極限体長との間には逆相関がある (図 3)。

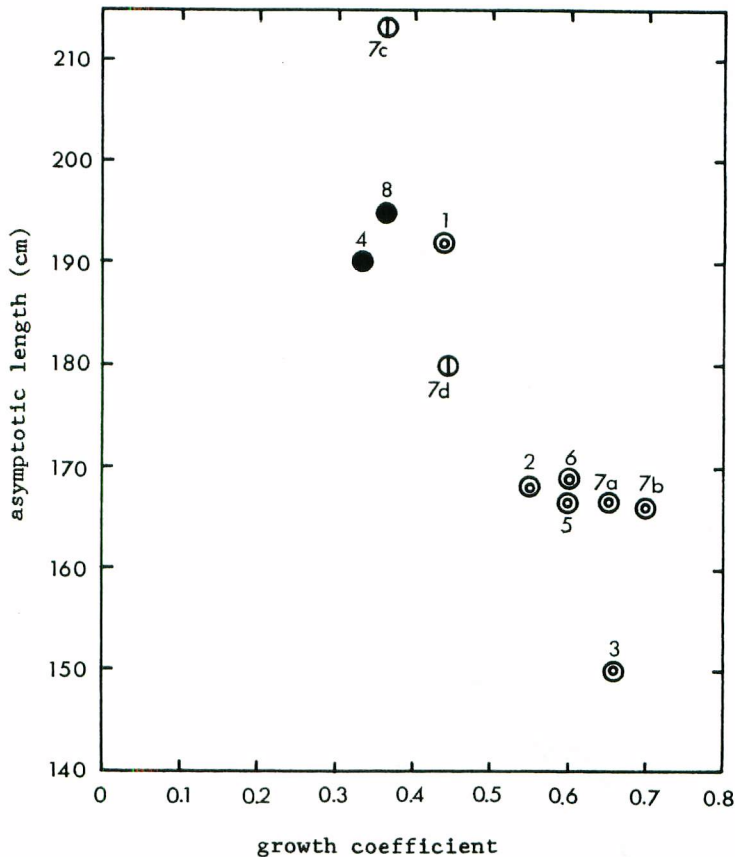


Fig. 3. Relation between estimates of growth coefficient and asymptotic length in twelve growth curves given by eight authors.

1, MOORE (1951), 2, YABUTA and YUKINAWA (1957), 3, YABUTA and YUKINAWA (1958), 4, YABUTA *et al.* (1960), 5, HENNENMUTH (1961), 6, DAVIDOFF (1963), 7a-d, DIAZ (1963), 8, YANG *et al.* (1969)

●.....Estimates from hard tissue observation

⊙.....Estimates from length or weight frequency analyses

⊕.....Estimates from length frequency analysis(atelic)

3. 成長係数と極限体長の変異

成長係数と極限体長の主要な変動要因は年令査定の方法である。すなわち、太平洋中西部の標本についていえば、藪田他 (1960), YANG *et al.* (1969) が行った鱗紋の観察による成長係数は 0.33~0.36, 極限体長は 190 cm の間にあるのに対して MOORE (1951) をのぞき体長組成の解析による藪田・行縄 (1957, 1959) の成長係数はほぼ 0.55~0.65, 極限体長は 150~170 cm となっている。とくにほぼ同一海域, 同一年代に行なわれた体長組成の解析による藪田・行縄 (1959) と硬組織の観察による藪田他 (1960) の結果をくらべると標本は同じようにはえなわ漁獲物から得られているが, 成長係数, 極限体長はそれぞれ前者では 0.66, 150 cm, 後者では 0.33, 190 cm と大巾に異っている。

一方, 東部太平洋のものについては, HENNEMUTH (1961), DAVIDOFF (1963) がいずれも体長組成にあらわれるモードの追跡によって, ほとんど同じ年, 海域からのデータから成長曲線を求めているが, 成長係数は 0.60, 極限体長は 167~169 cm であり, 同じ方法を用いて藪田・行縄が推定した結果にきわめて近い。

魚群の交代によってモードの推移が不規則になって成長を追跡しにくいという問題を解決するために DIAZ (1963) は *increment technique* という方法を提案している。この方法では BERTALANFFY の成長方程式を微分して

$$\frac{dl}{dt} = k(l_{\infty} - l) \dots\dots\dots (3)$$

とし, $\frac{dl}{dt}$ とし縦軸に 1 ヶ月のモードの増長量(mm)をとり, これを隣り合う 2 ヶ月のモードの平均値に対してプロットして成長係数 k と極限体長 l_{∞} を求めている。DIAZ の *increment technique* には 2 通りの計算方法がある。そのひとつは隣り合った月のモードのずれをすべて計算に使用する方法であって “*extended year class progressions*” と呼ばれる。他のひとつは次の月のモードとのずれを最大 200mm, 最小 -60 mm の範囲で採用する方法で “*atelic progressions*” と呼ばれている。前者では一連の成長を示す年級群があらかじめ仮定されているが, 後者では年級群を仮定することなく, ある範囲内のずれをもつモードのみが計算の対象となる。このうちすべてのモードのずれを用いた *extended year class progressions* は HENNEMUTH (1961) による体長組成の解析結果に近い。一方魚群の交代の影響を一応とり除いたと考えられる *atelic progressions* は, 中西部太平洋のキハダについて藪田他 (1960) が硬組織の観察によって求めた結果に近く, 成長係数は 0.35~0.45, 極限体長は 180~210 cm である。

III 論 議

II-3 で示唆したように, 成長曲線のパラメーターの推定値のバラッキの有力な原因として年令査定の方法のちがいが予想される。ここでは 2 つの推定方法のそれぞれがもつ問題点について作業仮説を提出し, その仮説について若干の資料を用いながら検証をこころみる。

1. 体長組成の解析のもつ問題

漁獲物から得られた体長組成にみられるモードを識別して成長と年令を推定するためにはいくつかの条件が満たされている必要がある (たとえば, 久保・吉原 1957, p.77)。そのうちで最も重要なのは, 漁獲物と海中の魚群との体長組成に現われるモードの位置がそれぞれ一致しているという条件である。もちろん漁業は固有の選択性をもっているが, 漁獲対象の大部分についてはこの条件が満たされていると仮定されている。たとえば, HENNEMUTH (1961) や DIAZ (1963) は東部太平洋沿岸海域では 55 cm 以下の小型魚の漁獲が規制されるので漁業のもつ選択性を考慮して, 70 cm または 80 cm 以下の個体を除外して成長曲線を推定している。このことは逆にいえば 70 cm または 80 cm 以上の魚については漁業が無作為にそれらを漁獲しているという前提が先験的にたてられていることになる。キハダのように産卵期の長い魚では, 同一年級群でも発生期によって体長はかなり異なるはずである。発生期を異にする魚群が漁獲されると体長組成のモードの推移は複雑となるであろう。事実, DIAZ (1963 p.386) は長期にわたってモードの推移を追跡することはかならずしも容易ではないと述べている。つまり漁獲物の体長組成にみられるモードの推移は, 必ずしも海中の魚群の平均的な

成長を示しているとはいえないだけでなく、モードを連ねて成長曲線を引く作業そのものに主観が強く働く可能性がある。しかも体長組成から成長曲線を引く場合には、ある月に得られた標本と翌月に得られた標本とが同じ魚群から抽出されたという保証はない。すなわち体長組成の解析ではその前提となる標本とストックとの対応がたしかめられていないのである。DIAZ が提案した *atelic progressions* という方法は、主観的にモードを連ねて成長曲線を描くことに対するひとつの反省とみなすことができる。この方法によれば、かならずしもなめらかでないモードの変化を1本の曲線で表わす必要がない。その結果、あるいは発生期を異にする集団別に成長量を推定するという結果になった可能性もあると考えられる。もっとも、この方法ではモードが客観的に決定できない。とくに、段階的に成長している魚については、同一発生群のモードの移動が正しく追跡されない可能性が大きくなる。この危険は 同氏の意図に反して 漁期が短い場合はかえっておこり易いであろう。体重組成および体長組成を用いたキハダの成長の研究の中で MOORE (1951) の成長曲線のパラメーターのみが硬組織から求められたそれに近い(図3)。その理由はよくわからないが、同氏の体重組成の扱い方にもひとつの特徴がある。彼はモードを追跡するさいに、まずある年の平均の体重組成をその年の月別の組成に重ね、それぞれの月の体重組成のモードの体重級における頻度が平年のそれを上まわる場合のうち、ある基準に合致したもののみをとりあげ、そのモードの位置の月変化を追跡している。この方法では年平均値との対応がありモードの推移がはっきりと示されるが、やはりモードを選び出す規準が主観的であることは否定できない。

2. 年輪の算定のもつ問題

鱗や脊椎骨といった硬組織に生じる年輪から年令と成長とを推定する方法は、キハダにはあまり適用されていない。この方法が材料の採集、処理、および測定にかなりの労力を要するだけでなく、環境の季節変化が温帯や寒帯にくらべて不明瞭な熱帯水域に主として分布している本種では年令査定に適する明瞭な年輪が形成されにくいと考えられたからであろう (HAYASHI, 1957)。LE GUEN・CHANPAGNAT (1968), ZHAROV (1968) は、大西洋のキハダの鱗、脊椎骨を観察して、それらは年令査定には不適當であると結論を下している。しかしある研究者がみいだせなかった年輪の特徴が他の研究者によってみいだされた例は他の魚でも少なくない。太平洋から得られた標本を用いて藪田他 (1960) は最外輪と鱗縁との距離の差の月別頻度分布の変化から輪は年に2回形成されると推定して鱗によるキハダの年令査定を行った。そしてその結果は鱗を観察した YANG *et al.* (1969) によって再確認された。この方法は同一の個体の成長を追跡しているから正しい体長-鱗長関係が得られている限り少なくとも体長組成の解析よりも漁業の選択性による偏りを含まない年令-体長関係が得られるはずである。

しかし硬組織を用いた年令査定には次のような問題点がある。まず鱗と脊椎骨の輪紋から推定された成長のパターンが異なっていることである。すなわち鱗読から推定された年令と体長との関係(藪田他 1960, YANG *et al.* 1969) はWALFORD の定差図にのる成長を示すのに対して、脊椎骨の輪紋から求めた成長 (TAN *et al.* 1965) は定差図への適合が悪くどちらかといえば Sigmoid 型の成長を示す。このような結果が得られた原因として、硬組織の種類によって成長のパターンが異るとも考えられないことはないが、同時に2種類の硬組織にあらわれた輪紋がどの程度の客観性をもって読まれているかということについても根本的な疑問を提出するものである。たとえば、これまでに輪紋を検討した研究者が述べているようにキハダの輪紋は読みにくい場合が多く、とくに高令魚になると輪紋の判定は非常に困難になり、必ずしも輪読の客観性は高いとはいえないと思われる。鱗については、このような問題を解決するひとつの方法として、明瞭に輪読できる鱗のみを使用して年令査定を行っているが(藪田他 1960)、このような配慮が偏りをひきおこさないという保証はないし、また、脊椎骨の場合にもはらわれたかどうかは不明である。どのような組織を用いて年令査定を行なう場合にも、輪読の客観性がどの程度のものか確かめておく必要がある。

計算体長の求め方にも問題が残っている。通例、成長曲線は年令別に求めた各輪紋形成時の計算体長の単純な算術平均値を各年令の平均体長として求められている。しかし LEE 現象がみられる場合には、このようにして単純に年令別平均体長を求めることには問題がある。行縄 (1970, p. 242) はミナミマグロの計算体長に

明瞭な LEE 現象を認め、それから成長曲線を求めるには年令別平均体長や計算体長の年令別平均値ではなく、年令別に求められた成長曲線上の各年令に対応する値を平均する方法をとっている。しかしながら過去の成長がひきつづいて未来にもちこされる保証はないので、この方法が正しい結果のみを与えるとは思われない。このように LEE 現象がみられる場合の成長の推定には、検討されるべき問題が多く残されたままになっている。

3. 漁業の選択性が成長係数の推定値に与える影響に関する仮説

一般にひとつの漁業はある特定の体長範囲の魚を漁獲している。したがって、漁業の選択中の下限に近い若年魚では、仮に同じ発生群に属していても、そのうち大型の個体が、また上限に近い高年魚では小型の個体が選択的に漁獲される。その結果、漁獲物の体長組成は海中の魚群のそれと比較して若年魚では大きい方へ、高年魚では小さい方へ偏るであろう (図 4A)。そうすると漁獲物から得た標本から推定された成長曲線では、

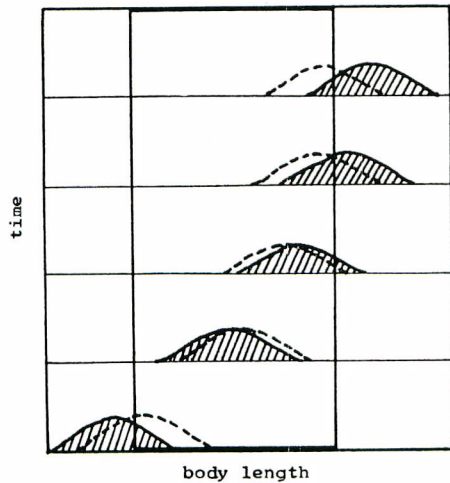


Fig. 4A. Schematic representation showing discrepancies of length frequencies between stock (shaded curves) and catch (dotted curves). The bold line quadrate denotes selective range of body length for the fishing in question.

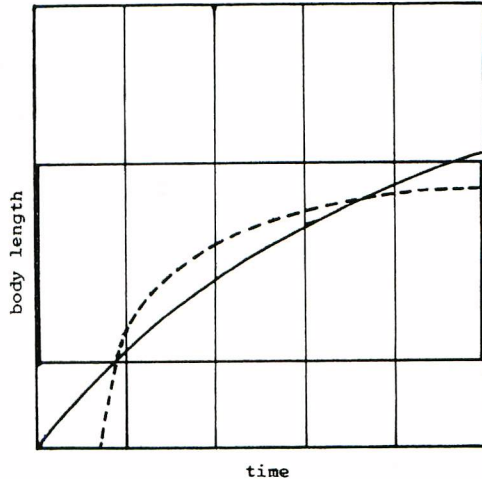


Fig. 4B. Schematic representation showing discrepancies of growth curves between stock in the sea (straight line) and catch (dotted line). The bold quadrate denotes selective range of body length for the fishing in question.

実際よりも k が大きくなり、その結果、極限体長は過少に評価されることになる (図 4B)。以下、この仮説の妥当性を現在入手しうる 3 つの資料から検討した。

第 1 にこのような漁業の選択性が存在する場合には計算体長に LEE 現象がみられるはずである。もちろん LEE 現象は漁業の選択性のみ起因するとはかぎらないが、この現象がみられれば体長組成から求められた成長曲線が漁業の選択性に影響されている可能性を否定できない。中西部太平洋のキハダの成長にかんする藪田他 (1960) の研究に用いられた未発表資料のうち、試みに赤道海域の 120~180°E でえられた 1~6 才魚 439 尾について、年令別に計算体長を求めると、高令魚から求められたそれぞれの年令に対する計算体長は、つねに若年魚から求められたそれよりも小さく、明瞭な LEE 現象が認められた (表 2, 図 5)。

第 2 に標識放流魚の増長量も、もしそれが海中の魚群の平均的な成長を示しているならば、漁業の選択性が成長曲線が推定にあたる影響に関する前述の仮説を検証するのに役立つであろう。体長組成を用いて求めた成長方程式が漁業の選択中の下限近くでは与えられた年令に対して過大に評価された平均体長を、上限に近す

Table 2.

Back-calculated fork lengths of the yellowfin tuna taken by
longline in the equatorial Pacific Ocean

Back-calculated fork lengths (cm) at successive ages							
age of fish	1	2	3	4	5	6	Number of fish
I	58.7						3
II	55.4	76.0					59
III	55.2	75.6	93.6				213
IV	54.1	73.6	91.6	108.4			135
V	52.2	72.0	88.5	105.4	120.1		26
VI	50.3	66.0	83.0	96.7	109.7	122.0	3

Based on unpublished data by YABUTA *et al.* (1960).

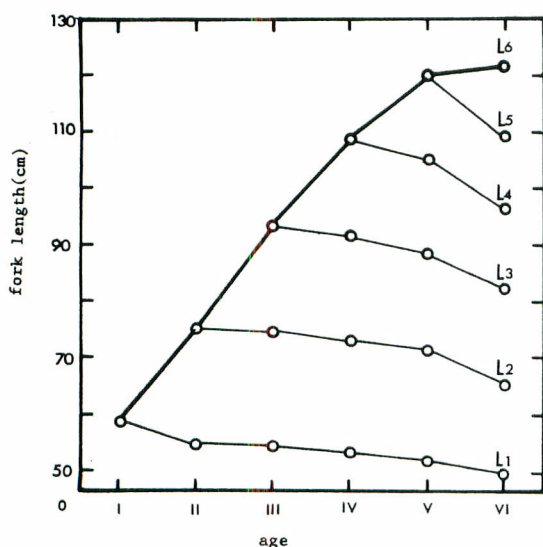


Fig. 5. Back-calculated fork lengths of the yellowfin tuna taken by longline in the equatorial Pacific Ocean.

Based on unpublished data by YABUTA *et al.* (1960)

くと逆に過小に評価された平均体長を与えるならば、若い時代に標識された魚から求めた増長量は、再捕期間がある範囲よりも短かければ体長組成の解析による成長曲線から推定したそれを下まわるであろう。再捕期間が長くなるにつれて、その増長量は体長組成の解析から求められた成長曲線のそれに近ずき、ある程度以上長くなると逆に上まわるはずである。また、ある大きさに達してから標識された魚の再捕記録は、つねに体長組成の解析に基づく成長曲線よりも大きな増長量を与えるはずである。これにたいして、硬組織からの推定による成長曲線から求めた成長量は通例標識魚のそれに近いはずである。ここで用いることのできた標識放流の資料は藪田・行縄(1959)がとりまとめた日本のはえなわ漁船による再捕結果ならびに BLUNT (1960) がとりまとめた東部太平洋水域におけるまき網船

Table 3.

Increments of fork length for four yellowfin tuna with
period of liberty exceeding one year

No.	Fork length at release (mm)	Fork length at recapture (mm)	Increment (mm)	Days at liberty	Remarks
1	601	933	332	372	
2	495	705	210	367	From BLUNT (1960)
3	570	1,338	768	842	
4	1,110	1,390	280	399	From YABUTA and YUKINAWA (1959)

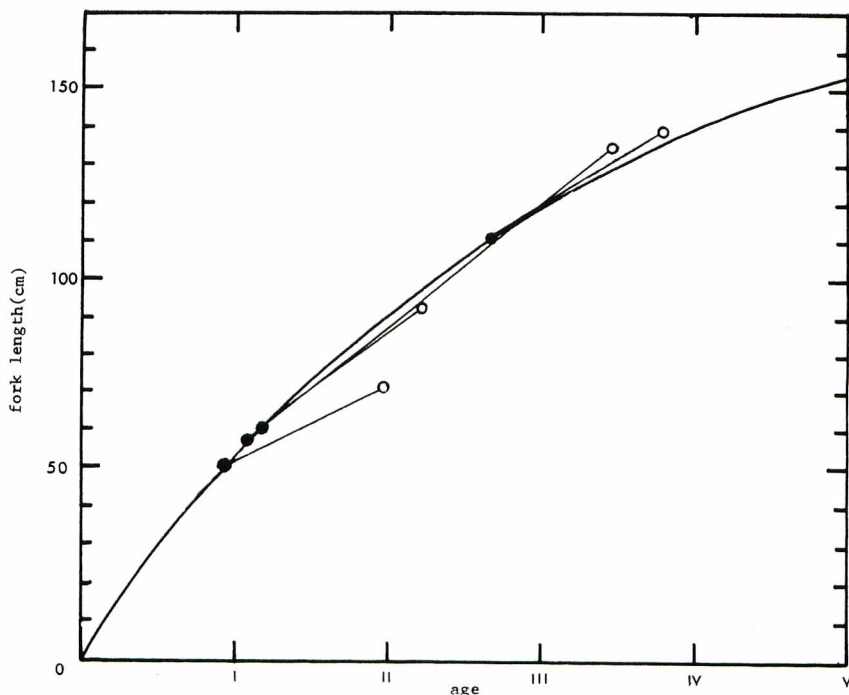


Fig. 6. Increment of tagged fish plotted on the growth curves by YABUTA *et al.* (1960).

Solid and open circles denote the fork length at release and recapture.

と竿釣船とによる標識放流の再捕結果である。標識による成長への影響およびそのさいに行なわれた体長測定
の精度を考慮して、ここでは1年以上の長期再捕記録のみに限ったので実際にとりあつた個体数はわずかに
4尾である。そのうち3尾は50~60 cm という小型魚時代に標識されている。また再捕までの期日は3尾
は約1年、1尾は2年である(表3)。これらの4個体については次のことが注目される。1). 鱗に形成され
る年輪を用いて求めた成長曲線と標識魚の増長量とは4個体中3個体までがほぼ一致しており、標識魚の増長
を示す直線は成長曲線の上下に散らばっている(図6)。2). 体長組成の解析から求められた成長曲線と比べ
ると、50~60 cm で標識され1~2年以内に再捕された2尾の増長量は HENNEMUTH (1961) および DIAZ
(1963, *atelic*) が体長組成の解析によって求めた成長曲線にくらべてはるかに小さい。ただし、60 cm で標
識されたもので2年以上かかって再捕された1尾、および110 cm になって標識された1尾はこれらの成長曲
線に近い増長量を示している(図7)。SCHAEFER *et al.* (1961, p. 372) は東部太平洋で得た標本につい
て、標識魚から得た成長度が体長組成のモードの追跡から求めたそれよりも小さいと述べているが、同氏ら
がとりまとめた個体が主として60 cm 前後で標識され、比較的短期間に再捕されたものであるとすれば、その
結果は今回得られた結果と一致しているといえよう。

第3に漁業の選択性の影響にたいする検証は漁獲物の体長組成からも得られる。極限体長は WALFORD の
定差図から理論的に求められる。この極限体長の推定値は、それ自体も誤差をともなっており、また個々の
魚の体長の平均値であるので現実に漁獲されている魚の最大体長よりも必ずしも大きくなければならぬこと
はない。しかし、もし極限体長が過小に評価されていれば、その推定値を上まわる個体が比較的頻りに認めら
れ、しかも実際に漁獲される最大体長は計算された極限体長に比べてはるかに大きいはずである。

中西部太平洋ではえなわの対象となったキハダについていえば、体長組成の解析によって藪田・行繩(1959)
が求めた極限体長は150 cm、検鱗によって藪田他(1960)が求めたそれは190 cm である。それに対して、

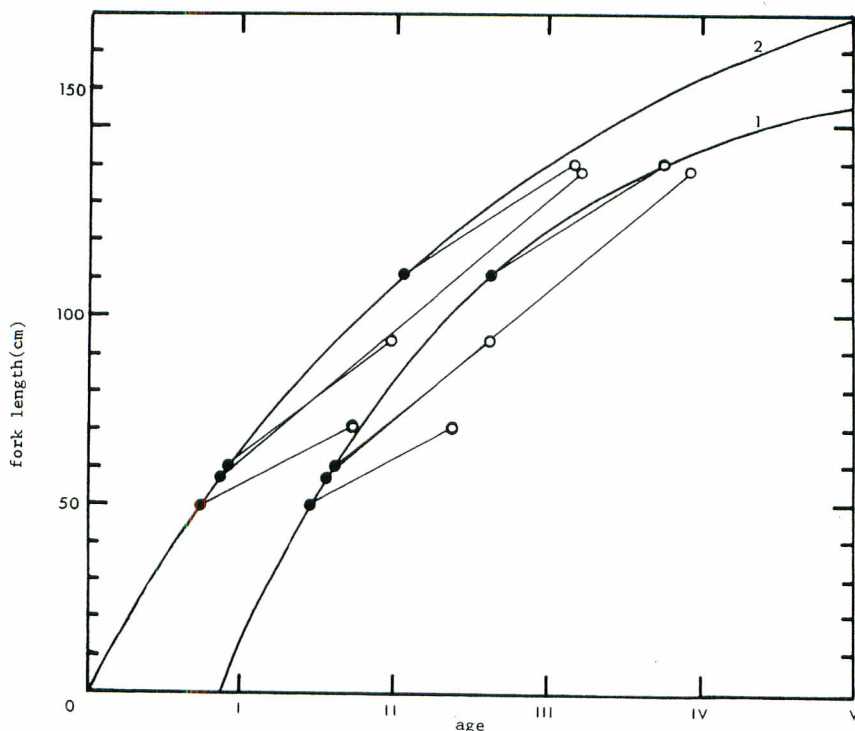


Fig. 7. Increment of tagged fish plotted on the growth curves by

1. HENNEMUTH (1961) and 2. DIAZ (1963).

Solid and open circles denote the fork length at release and recapture.

上村・本間 (1963) が調べた体長組成をみると 150 cm 以上の個体は全標本 73,580 尾の 6% にあたる 4,565 尾であり、しかも最大体長は約 190 cm で検鱗から求めた極限体長とはほぼ一致するが体長組成の解析に基づく極限体長を 40 cm もこえている。

以上のべてきたとうり計算体長にみられる LEE 現象、標識魚の増長量、漁獲物の体長組成にみられる最大体長と計算極限体長との差異は、いずれも漁業が若令魚からは大きい個体を、高令魚からは小さい個体を選択的に漁獲していることを示唆していると思われる。したがって同一個体または同一発生集団を区別して成長曲線を描かないと成長係数 k を過大に極限体長 l_{∞} を過小に評価することになりやすいということを示している。

ここでキハダの成長について行ってきた論議を他のマグロ類にも適用してみよう。まづ分類学的にキハダとミナミマグロとの中間的な位置を占めるメバチ (岩井他, 1965) についての藪田・行縄 (1963) の研究結果

Table 4.

Ring radius (mm) of bigeye tuna showing LEE's phenomenon.

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
r_1	0.863				
r_2	0.827	1.238			
r_3	0.766	1.175	1.554		
r_4	0.729	1.106	1.470	1.805	
r_5	0.708	1.068	1.426	1.760	2.072
r_6	0.707	1.090	1.435	1.758	2.040

After YABUTA and YUKINAWA (1963)

をみると、ここでも明瞭な LEE 現象がみられる (表 4)。また体重組成を用いて推定したメバチの成長曲線

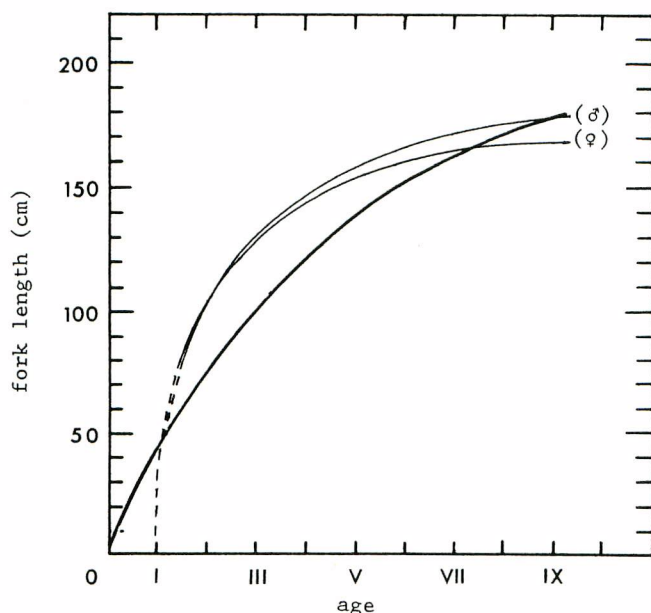


Fig. 8. Growth curve of bigeye tuna by weight composition (SHOMURA and KEALA, 1962) shown with fine line and by scale-reading (YABUTA and YUKINAWA, 1963) with thick line.

Modified from YABUTA and YUKINAWA (1963).

(SHOMURA・KEALA, 1962) と鱗から求めた成長曲線 (藪田・行縄, 1963) との関係も図 8 に示すようにキハダの場合と非常に類似している。また藪田・行縄 (1963) の推定したメバチの l_{∞} は 215 cm である。現在まで記録として残っているもので、著者の知り得る範囲では、太平洋で漁獲されたメバチの最大体長は 1966 年、三重県立水産高等学校の実習船、大勢丸によって漁獲された 209 cm (♀) であり、さきの藪田・行縄 (1963) の推定値とはほぼ一致している。さらに標識放流の結果と藪田・行縄 (1963) の推定したメバチの成長曲線もよく一致している。

次にミナミマグロでは LEE 現象はやはりみとめられるが (行縄, 1970)、体長組成 (ROBINS, 1962) と鱗読 (行縄, 1970) とから求められた k および l_{∞} の値にはほとんど差はみられない。体長組成と鱗読とから得られた k および l_{∞} がミナミ

マグロで一致している理由と関連して行縄 (1970) が C. S. I. R. O. の研究者 (たとえば HYND, 1965) は、オーストラリア沿岸のミナミマグロの研究では 3 つの異なる *stock* (発生集団) 別にモードを追跡している可能性があることを述べていることは興味深い。発生集団を区別できないはえなわの漁獲物の体長組成を行縄 (1970, p. 248) が解析して求めた成長曲線では、鱗読による成長曲線のそれに比べ k が大きく、したがって l_{∞} が小さいようである。このことは、著者があげた仮説はキハダ以外のマグロ類についても成立する可能性のあることを示唆している。

4. 残された問題点

西部太平洋のキハダについては、体長組成と硬組織との両方からの年令査定が行なわれている。しかし、東部太平洋で表層漁業の対象となっているキハダに関しては、硬組織からの年令査定が不可能であるとして (SCHAEFER *et al.*, 1963) 体長組成からの年令査定しか行なわれておらず、2 つの方法によって求められたキハダの成長係数を比較検討することができなかった。

IV 結 論

少なくとも中西部太平洋ではえなわによってとられた標本は、若年魚からは大型魚、高令魚からは小型魚をとって、漁獲物の体長組成は漁業の選択性的影響を受けている可能性が大きい。これに対して、硬組織上の輪紋をてがかりとして成長を推定した場合には、同一個体の成長を追跡することができ、推定値の偏りが小さいと判断される。したがって成長方程式のパラメーターとしては、硬組織を用いてもとめた藪田他 (1960), YANG *et al.* (1963) の結果、すなわち成長係数 k として 0.35 前後、極限体長 l_{∞} は 190~200 cm を採用した方がよいと考えられる。

東部太平洋で表層漁業の対象となっているキハダ群は、中西部太平洋ではえなわの対象資源となっている群とは別の系統群に属している可能性があると考えられているが (SCHAEFER, 1967), このキハダについては、前述のように硬組織による年令査定は放棄されている。したがって体長組成の解析から求められた成長係数と硬組織によるそれとを比較検討できなかった。しかし中西部太平洋のキハダについて行なった比較検討から推論すると、東部太平洋のキハダについても、体長組成から求められた成長係数 k は過大に、極限体長 l_{∞} は過小に評価されている可能性があると考えられる。

引用文献

- 相川広秋・加藤益夫 1938: “魚類の年令査定 (予報 I)”. 日水会誌 7 (2), 79-88
- BLUNT, C. E. Jr., and J. D. MESSERSMITH 1960: “Tuna tagging in the Eastern Tropical Pacific, 1952-1959”, *California Fish and Game*, 46 (3), 301-369.
- DAVIDOFF, E. B. 1963: “Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean, 1951-1961”. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 8 (4), 201-251.
- DIAZ, E. L. 1963: “An increment technique for estimating growth parameters of tropical tunas, as applied to yellowfin tuna (*Thunnus Albacares*)”. *ibid.*, 8 (7), 383-416.
- FRASER, C. M. 1916: “Growth of the spring salmon”. *Trans. Pac. Fish. Soc.* 1915, 29-35. 久保・吉原 (1966 p. 93) より引用。
- HAYASHI, S. 1957: “A review of age determination of the Pacific tunas”. *Proc. Indo-Pac. Fish. Coun.*, (2) and (3), 53-64.
- 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”. 遠水研報告 (2), 65-83.
- HENNEMUTH, R. C. 1961: “Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean for the year 1954-1958”. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 5 (1), 1-112.
- HYND, J. S. 1965: “Southern bluefin tuna populations in Southwest Australia”. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 16 (1), 25-32.
- 岩井保・中村泉・松原喜代松 1965: “マグロ類の分類学的研究”. 京都大学みさき臨海研究所特別報告別刷, 1-51.
- 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 & SCHLEGEL) の分布”. 南水研報告 (17) 31-53
- 木村喜ノ助 1932: “重寺漁場の漁獲にあらわれしクロシビ, キハダの成長度”. 日水会誌, 1 (1) 1-4.
- 久保伊津男・吉原友吉 1957: “水産資源学”. 共立出版・東京, 315 p.
- LE GUEN, J. C., C. CHAMPAGNAT 1968: “Croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans les région de Pointe-Noire et de Dakar”. *Doc. Centre ORSTOM, Pointe-Noire*, (431), 1-24.
- MOORE, H. L. 1951: “Estimation of age and growth of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) in Hawaiian Waters by size frequencies”. *U. S. Fish and Wildlife Serv. Fish. Bull.*, 52, 133-149.
- 能勢幸雄・川津浩嗣・檜山義夫 1957: “鱗による太平洋マグロ類の年令と成長に関する研究”. 水産学集成, 701-716.
- NOSE, Y., S. TOMOMATSU, K. MIMURA and Y. HIYAMA 1955: “A method determine the time of ring-formation in hard tissues of fishes, especially for the age determination of Pacific tunas”. *Record of Oceanographic works in Japan*, 2 (3), 9-18.
- ROBINS, J. P. 1962: “Synopsis of biological data on southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*

- (CASTELNAU) 1872". *Proc. World Sci. Meet. Biol. Tuna and Related Species FAO Species Synopsis*, (17).
- SCHAEFER, M. B. 1967: "Fishery dynamics and present status of the yellowfin tuna population of the Eastern Pacific Ocean". *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 12 (3), 89-111.
- SCHAEFER, M. B., G. C. BROADHEAD and C. J. ORANGE 1963: "Synopsis on the biology of yellowfin tuna, *Thunnus (Neothunnus) albacares* (BONNATERRE), 1788 (Pacific Ocean)". *FAO Fish. Rept.*, 6 (2), 562-587.
- SCHAEFER, M. B., B. M. CHATWIN and G. C. BROADHEAD 1961: "Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959". *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 5 (5), 343-416.
- SHOMURA, R. S. and B. A. KEALA 1962: "Growth and sexual dimorphism in growth of bigeye tuna, (*Thunnus obesus*), A preliminary report". *FAO World Sci. Meet. Biol. tuna and related species. experience paper*, (24), 1-9.
- TAN, H., Y. NOSE and Y. HIYAMA 1965: "Age determination and growth of yellowfin tuna *Thunnus Albacares* Bonnaterre by vertebrae". *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 31 (6), 414-422.
- WALFORD, L. A. 1946: "A new graphic method of describing the growth of animals". *Biol. Bull.*, (Woods Hole), 90 (2), 141-147. 久保・吉原 (1966p.122) より引用。
- WINBERG, G. G. 1956: "Rate of metabolism and food requirements of fish". *Fishery Research Board of Canada, Translation Series*, (194), 1-202.
- 藪田洋一・行縄茂理 1957: "日本近海におけるキハダの年令と成長". 南水研報告 (5), 127-133.
- 藪田洋一・行縄茂理 1959: "赤道太平洋におけるキハダの成長と年令". 同上 (11), 77-87.
- 藪田洋一・行縄茂理 1963: "メバチの成長と年令". 同上 (19), 103-118.
- 藪田洋一・行縄茂理・薬科侑生 1960: "キハダの成長と年令 II, 鱗にみられる輪紋からの検討". 同上 (12), 63-74.
- YANG, R., Y. NOSE and Y. HIYAMA 1969: "A comparative study on the growth of yellowfin tunas from the Pacific and Atlantic Ocean". *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, (2), 1-21.
- 吉原友吉編 1964: "漁獲の理論". 日本水産資源保護協会, 76. p.
- 行縄茂理 1970: "鱗によるミナミマグロの年令と成長". 遠洋水研報告 (3), 229-257.
- ZHAROV, V. L., 1968: "Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares* BONNATERRE) of the Atlantic Ocean". *International council for the exploration of the sea with the support of FAO, Symposium on "The living resources of the African Atlantic continental shelf between the Straits of Gibraltar and Cape Verde", Section: Fishes*, (66), 1-8.