

# 網目選択性に関する理論的研究— II.\*

## 曳網類の選択曲線の推定法

藤 石 昭 生

A Theoretical Approach to the Selectivity of the Net Gears— II.  
A Method of Estimating Selectivity Curves of Trawl and Seine Nets

By

Akio FUJISHI

For the purpose of enforcing mesh regulations and providing informations of the optimum yield, a number of experiments on the mesh selection of trawl and seine nets have been carried out for many years in the important fishing grounds in the world. The cover-net method, the commonest method, have been widely used for estimating the selection curves. Those curves are determined by capturing the fishes which have escaped from the large meshed cod-ends and comparing their body length or girth with those retained by the small meshed cover-nets.

From the view-points of saving much time and labour for the field experiments and offering the suggestive data to the effective fisheries management in the near future, it is also important to develop a new theory of selectivity. The theoretical approach to the selectivity proves to be favorable to using the geometrical relations between the shape of cross-section of fish body and that of mesh under tow, as described in the previous paper<sup>17)</sup>. In this type of investigation it is difficult to estimate the degree of deformation of mesh shape when fishes are forcing their way through the meshes. CLARK<sup>12)</sup> made a series of mesh experiments in *ICNAF* subarea V, in which he pointed out that the flexibility of the mesh as a whole increased with increase of mesh size. But the cod-end's meshes under tow are not so flexible as the mesh shapes are deformable according to the cross-section of fish body. Furthermore it is satisfactory to consider that the

---

\*水産大学校研究業績 第712号, 1974年1月7日 受理.  
Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 712.  
Received Jan. 7, 1974.

flexibility of the mesh is more or less different in the materials of net and mesh location in the cod-end.

Introducing CLARK's results and other possible items relating to the flexibility of the mesh, the author, to simplify the argument, distinguished between two different shapes as the approximate mesh shapes. Those are of the diamond shape as the rigid mesh and of the wide-shaped hexagon as the flexible mesh. From the two mesh shapes, the relative magnitude  $2a/(T/4)$  within the upper and lower selection limits can be expressed by following forms, in the same manner as presented in the previous paper<sup>17)</sup>:

In the case where the mesh is of the diamond shape,

$$2a/(T/4) = \sin 2\theta / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\theta - \varphi)} \quad (0 \leq \varepsilon < 1)$$

In the case where the mesh is of the wide hexagonal shape.

$$2a/(T/4) = 2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \varphi} \quad (0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_i)$$

and

$$2a/(T/4) = 2 \sin \theta \cos \alpha / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\alpha - \varphi)} \quad (\varepsilon_i \leq \varepsilon \leq 1)$$

$\theta$  is related to  $\alpha$  by the following equations;

$$\sin \alpha = 2 \sin \theta - 1 \quad \text{and} \quad \cos \alpha = 2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta}$$

where  $2a$  is the body height at the maximum girth on the assumption that the cross-sectional shape of fish body has an elliptical form,  $T/4$  is the length of half mesh size,  $\theta$  and  $\alpha$  are the mesh angles as shown in Fig. 1,  $\varphi$  is the angle between the major axis of ellipse and the longer diagonal line of mesh,  $\varepsilon$  is the eccentricity of the ellipse corresponding to the degree of flatness of fish body and  $\varepsilon_i$  is a kind of the critical value of  $\varepsilon$  as shown in the appendix (1).

In this report, the combinations of the ratio of a major axis to the maximum axis of ellipse and the ratio of area of ellipse to that of mesh in the ranges of the afore-said limits were used as one of the substitutes for the index of the retention rate. If these ratios are small, fishes have much chance to escape and *vice versa*. Though these ratios vary from 0 to 1, practically at a certain value fishes begin to be selected and at another certain value smaller than 1, all fishes are retained. Therefore here the average of percentage of two ratios were adopted as the retention rate. The lower and upper selection limits are obtained from the above expressions under which  $\varphi$  equals to a right angle and zero. In accordance with the way described above, the theoretical selection curves are illustrated with the relative magnitude as abscissa against the percentage "rate of retention" as ordinate by the combinations of  $\theta$  and  $\varepsilon$ . The following conclusions became evident after comparing the theoretical values with experimental values referring to AOYAMA's papers<sup>1,2,3,4,5)</sup>:

- 1) It is assumed that the theoretical values at five retention points (0, 25, 50, 75 and 100%) are almost the same as the experimental values.
- 2) The deviations from the theoretical values to actual at 100% retention point shown

in Table 3 were helpful both as a judgement on the applicability of approximated shape of mesh and as a hint for estimating the flexibility of meshes under tow. Namely, considering the accuracy of experiments, a few percent deviation is satisfactory and it may in common fairness be said that the wide-hexagonal shape is a fitting application as the flexible mesh by the posteriori reasoning.

3) We think the values shown in Fig. 3., Fig. 4. and Fig. 5. give useful suggestion as to enforcing mesh regulations.

## 緒 言

網漁具の選択性を調査する主目的にはつぎの2つがある。1つは魚種別、目合別の選択曲線を求め、これらの調査結果を網目規制に活用して有効な漁業資源の管理を行なうことである。あとの1つは漁具が備えている選択作用のために漁獲物の体長組成がゆがめられるので、そのゆがみを是正することである。曳網類の選択性については今世紀の初頭から種々の研究が行なわれてきた。たとえば、1920年代から1930年代にかけて、DAVIS<sup>15)</sup>、FORD<sup>26)\*</sup>らはカバーネット法による調査結果を、また、RUSSEL *et al*<sup>22)</sup>、BUCHANAN-WOLLASTON<sup>10, 11)</sup>、BOROWIK<sup>9)</sup>らは異なる目合のコッドエンドの網を用いて実験した結果をそれぞれ報告した。彼らの調査した海域は北大西洋の北部およびバルチック海の底曳漁場にかぎられていた。また、調査された魚の種類を見ると、Haddock, Whiting, Codなどの紡錘形の魚種とPlaice, Dab, Soleなどの扁平形に属する魚種が多い。これらの実験は大部分が漁獲物の体長組成を比較するだけに止まり、商品サイズ以下の魚を保護するための初歩的な資料の収集が目的であったように思われる。しかし、BUCHANAN-WOLLASTON<sup>10)</sup>は選択の機構に偶然性を考慮にいたした新しい研究も試みている。1950年代になると、この種の調査は漁業資源の永久利用をはかるために、国際的な規模で行なわれるようになった<sup>8, 12, 20, 21)</sup>。また、試験網の目合としては1920年代に用いられた目合に比べ広範囲のものが使用されるようになった<sup>8, 12)</sup>。わが国におけるこの種の調査は<sup>27)</sup>1950年に東北海区および西海区水産研究所の研究者達によって着手された。

網目選択性に関するほとんどの研究が海上実験によって得た資料を用いて解析されている。しかし、一方では実験に頼ることなく、選択曲線を理論的に求める方法も試みられてきた。すなわち、選択機構を幾何学的に想定し、これに基づいて理論考察を進める方法である<sup>23)</sup>。筆者<sup>17)</sup>は前報で網目形状と魚体断面形状の相互関係に基づいて、網目選択性に対する大胆な理論的接近を試みた結果、理論的に選択曲線を求めることができた。その理論では網目、魚体断面形状、入網魚群の対網行動に関する種々の仮定が前提になっている。これらの仮定のうち、とくに網糸を剛体とみなした仮定は非現実的であると思われる。そこで、本報告では網目に関する仮定を一歩前進させて、網糸が可撓的である場合の選択性を解明しようと試みた。可撓的な網目形状としては扁平な六角形を考えた。すなわち、ある網目に出合った魚が網目を通り抜けるとき、網目形状が菱形から扁平な六角形に変形できる場合を考えたのである。本報告で取り扱った網目形状は菱形と六角形のごく一部にすぎない。しかし、これらの近似形状を用いた解析法は網糸がより可撓的な場合の選択性に対する示唆を与えるものと考えられる。また、この方法は刺網類のように網糸が柔軟な漁具の選択性を考察する際に参考になるであろう。

## 理論選択曲線の推定法

ある網漁具の選択性を知るためには実験によってその漁具の選択曲線を求めればよい。この実測選択曲線

\*原著, "The Nation's Sea-Fish Supply" を真道重明氏が和訳した抄録を参照した。

を選択の全域にわたり完全に満足するような理論式で表わすことはできない。しかし、実測選択曲線に近似できるような曲線を理論的に導くことは可能である。そこで、本報告では前報と同様に、魚体断面形状に関するいくつかの尺度(体高、胴周、胴断面積)の大小が魚の網目通過の難易を規定すると考えた。すなわち、基本的な解析方法では網目形状と魚体断面形状との関係が基礎になる。また、本報告の前提におく諸仮定が

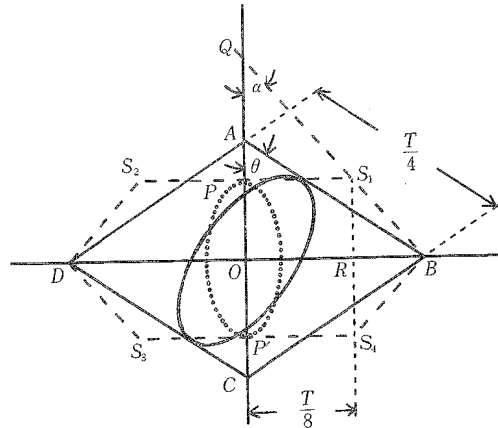


Fig. 1. Positional relationships among wide-shaped diamond and hexagonal meshes and elliptical form of fish body at the maximum girth.

Notes:  $1/2$  mesh size (AB, BC);  $T/4$   
 $1/4$  mesh size ( $PS_1$ ,  $BS_1$ );  $T/8$   
 Mesh angles of diamond and hexagon;  
 $\theta$  and  $\alpha$ .  
 The solid and dotted lines of body shapes indicate lower selection limits in the cases of diamond and hexagonal meshes, respectively.

前報のそれと異なるのは網目形状に関する項目だけである。それは本研究が可撓的な網目をもつ漁具の選択性を解析しようとしているからである。可撓的な網目の近似形状としては第1図に示すような扁平な六角形を適用した。この近似形状を採用した理由および解析の前提になる諸仮定を次節で述べる。

### 1. 網目、魚体断面形状および入網魚群の対網行動に関する仮定

ここで可撓的な網目の近似形状が正六角形ではなく扁平な六角形であるとみなすのは網糸自体の柔軟性を考慮したからである。すなわち、曳網中の網目形状は菱形を呈していることが諸外国で行なわれた水中観察結果から知られている<sup>19, 24)</sup>。その網目には曳網中にかなりの張力が作用しているため、網目の可撓性が減少する<sup>24)</sup>。しかし、網糸自体は剛体ではなく多少の柔軟性を保持しているため、網目の可撓性が完全に失なわれることはない。このことは CLARK<sup>12, 14)</sup>の実験結果からも推察される。また、底曳船が操業するとき、使用漁具には曳網時間を通じて一定の力が作用しているのではない。時間軸に対する曳索の張力分布が波高の異なる一種の波型を示すことから、曳索にはある時間間隔で大きい張力と小さい張力が交互に作用していることが明らかである。小さい張力が作用しているときには、網目はかなり可撓になると考えることがで

きる。このような状況下において、魚が網目を通り抜けようとするれば、一つの網目を構成する4脚の網糸ではそれぞれ結節間の midpoint がもっとも曲がり易いと考えられる。つぎに前提におく諸仮定を列記する。

#### 網目に関する仮定

- (I) 曳網中のコッドエンドの網目形状はすべて同じ菱形とみなすが、魚が網目を通り抜けようとするときには菱形から扁平な六角形に変形することがある。
- (II) 菱形の頂角が一定のときに、菱形の長対角線の長さは扁平な六角形の長対角線の長さに等しい。
- (III) 上述の2形状では頂角が変化できる。菱形の1辺の長さおよび大きい方の頂角をそれぞれ  $T/4$ ,  $2\theta$  とすれば、扁平な六角形網目の大きさも上述の仮定および第1図から  $T/4$ ,  $\theta$  で表わされることになる。この場合、網糸の直径が結節間の長さに比べ充分小さいなら、2つの結節の中心間の距離が  $T/4$  に等しいとみなしても差し支えない。

#### 魚体断面形状に関する仮定

- (I) 最大胴周部における魚体断面形状を近似的に楕円（長径： $2a$ , 数値離心率： $\varepsilon$ ）とみなし、 $\varepsilon$  を魚体の扁平度の指標とする。
- (II) 特定部位（最大胴周部, または, 第1背びれ起部）の魚体断面形状は単一魚種間では体長と無関係に相似である。
- (III) 魚体の体高, または, 体巾は体長の一次比例式で表示することができる。

この場合楕円の長径 ( $2a$ ) および短径 ( $2b$ ) はそれぞれ魚体の体高と体巾に相当する。

#### 入網魚群の対網行動に関する仮定

- (I) 網目を通り抜けようとする魚は網目の面に対し魚体軸を直角に保持する。
- (II) 魚は頭の方から網目の中心付近に向かって進むものとする。

## 2. 網目形状と魚体断面形状の相対的な大きさおよび選択の両限值

前報<sup>17)</sup> にならって、網目形状と魚体断面形状の相対的な大きさを  $2a/(T/4)$  で表示する。また、本研究では前節の仮定に基づいて菱形および扁平な六角形を網目形状に適用する。したがって、選択の上限および下限に対応する式が網目の形状別にそれぞれつぎのように求められる。

#### 菱形網目の場合

$$\text{選択下限 } 2a/(T/4) = \sin 2\theta \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{選択上限 } 2a/(T/4) = \sin 2\theta / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta} \dots\dots\dots (2)$$

#### 扁平な六角形網目の場合

$$\text{選択下限 } 2a/(T/4) = 2\sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{選択上限 } 2a/(T/4) = 2\sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \sqrt{1 - \varepsilon^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$2a/(T/4) = 2 \sin \theta \cos \alpha / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \alpha} \dots\dots\dots (5)$$

(3), (4) および (5) 式を求める手法を巻末の付録 (1) に示す。なお, (1), (2) を求める手法は前報の付録 (1) に示してある。また, 網目形状が扁平な六角形の場合には選択上限を求める式が (4) または (5) のうちのいずれかになる。これは選択上限値が  $\varepsilon$  の値の大小によって左右されるからである。この

$\epsilon$  を求める手法および選択上限に適用する式を決める  $\epsilon$  の条件式を付録 ( 1 ) に示した。

### 3. 残留率 (コッドエンドに残る割合)

前報ではある網目に対する魚の網目通過の難易性を「角度比」で、魚群行動の確率的性質を「面積比」で代表させ両者の平均値を残留率に適用した。しかし、この「角度比」や「面積比」だけが残留率の指標として適切であるとはかぎらない。これらのほかに、残留率の指標として代用できると考えられる具体例をつぎに示す。

網目通過の難易性を表わす指標には「長さ」の単位をもつ尺度の比を用いる方法が考えられる。すなわち、

- ( I ) 選択上限の楕円長径 ( $2a_{max}$ ) に対する選択両限間における任意の楕円の長径 ( $2a_i$ ) の比 ( $2a_i/2a_{max}$ ) を用いる方法
- ( II ) ( 1 ), ( 2 ) 式または ( 3 ), ( 4 ), ( 5 ) 式から選択両限值を求め、この両限間を直線で結び概略の残留率を推定する方法
- ( III ) ( I ) で  $2a$  のかわりに楕円周 ( 胴周 ) を用いる方法

魚群行動の確率的性質を表わす指標には面積の比を用いるのが適切であろう。これには、

- ( IV ) 網目面積に対する楕円の面積 ( 魚体の胴断面積 ) の比を用いる方法
- ( V ) 網目の中で楕円が動くとき、網目の頂角付近には楕円が網目をおおうことができない部分が生じる。網目面積に対するこの部分の面積の比を用いる方法<sup>23)</sup>

などが考えられる。これらの指標はいずれも  $2a/(T/4)$  の関数で与えられるので残留率を計算するのに都合がよい。これらの中から、残留率に適用すべき指標を選定するに当っては各指標について実測選択曲線との近似度や残留率の数值計算の難易などを調べておくことが必要である。もし、単一指標を残留率に適用すれば、得られる理論選択曲線は実測選択曲線との近似度が悪いと予想されるが、概略の選択効果を簡単に知ることができよう。その反対に、複数指標の平均値を残留率に適用すれば、選択効果を簡単に知ることができないが、選択性を詳細に調べることができよう。上述の各指標について数值計算の難易と近似度の良否を調べた結果はつきのとおりである。まず、数值計算の容易な順に各指標をならべると、( II ), ( I ), ( III ), ( IV ), ( V ) になり、近似度のよい順にならべると、( IV ), ( I ), ( II ), ( III ), ( V ) になる。また、各指標にはつきのような欠点がある。( I ) および ( II ) を残留率に適用すれば、選択曲線が直線になるので選択両限付近の近似度が悪くなる。( III ) では選択下限を求める手がかりが得られない。( IV ) では、選択両限付近において近似度が悪くなるが、( I ) および ( II ) に比べるとかなり良い近似値をもつ。( V ) では5指標中もっとも数值計算が面倒であるばかりでなく、50% 選択点以下での残留率が実測値に比べ極端に過大になる。

そこで、ここでは各指標の中から任意に選んだ2つの異なる指標の平均値を青山の実験値と比較してみた。その結果、本報告では上述の指標の ( I ) および ( IV ) の平均値を残留率に適用することにした。すなわち、残留率 ( R ) は選択両限間における楕円の長軸比 ( L. R. ) と面積比 ( A. R. ) をそれぞれ百分率に換算した平均値  $[(L. R. + A. R.)/2]$  である。選択両限間における L. R. を求めるためにはこの範囲内の任意の大きさの楕円と網目との関係を  $2a/(T/4)$  の関数で表示しなければならない。いま、楕円長軸と網目の長対角線が網目の中心でなす角を  $\varphi$  とおけば、両者の関係式が網目の形状別にそれぞれつぎのように得られる。

菱形網目の場合

$$2a/(T/4) = \sin 2\theta/\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} \dots\dots\dots ( 0 \leq \varphi \leq \theta ) \dots\dots\dots ( 6 )$$

扁平な六角形網目の場合

$$2a/(T/4) = 2\sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta}/\sqrt{1-\epsilon^2 \cos^2 \varphi} \dots\dots\dots ( 0 \leq \varphi \leq \pi/2 ) \dots\dots\dots ( 7 )$$

$$2a/(T/4) = 2 \sin \theta \cos \alpha / \sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2(a - \varphi)} \dots\dots (0 \leq \varphi \leq \pi/2) \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ただし, } \cos \alpha = 2\sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} \dots\dots\dots (9)$$

(7), (8) および (9) 式を求める手法を付録 (1) に示す。なお, (6) 式を求める手法はすでに前報<sup>17)</sup>の付録 (2) で述べた。(7) および (8) 式のうち, いずれを残留率に適用すべきかは前述した  $\epsilon$  の条件式によって決まる。また, A. R. は網目の形状別にそれぞれつぎの各式から求めることができる。

菱形網目の場合

$$A. R. = \pi ab / (T/4)^2 \sin 2\theta = \{2a/(T/4)\}^2 \{ \pi \sqrt{1 - \epsilon^2} / 4 \sin 2\theta \} \dots\dots\dots (10)$$

扁平な六角形網目の場合

$$A. R. = \pi ab / (T/4)^2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} (2 \sin \theta + 1) \\ = \{2a/(T/4)\}^2 \{ \pi \sqrt{1 - \epsilon^2} / 4 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} (2 \sin \theta + 1) \} \dots\dots\dots (11)$$

上述の各式を用いて, 任意の  $2a/(T/4)$  の値に対応する残留率を計算できる。つぎの計算例は網目形状が扁平な六角形の場合における R の算出順序を示したものである。まず,  $\theta = 55^\circ$  ( $\alpha = 39.7^\circ$ ),  $\epsilon = 0.95$  が初期値として与えられると, R は  $\varphi$  を順次変化させることによって求められる。

$\varphi$	$2a/(T/4)$	A. R.	L. R. (%)	A. R. (%)	R (%)
0°	1.5860	0.6075	100	100	100
⋮					
10°	1.3737	0.4931	70.31	75.37	72.8
⋮					
35°	1.2257	0.3628	36.08	47.32	41.7
⋮					
90°	0.7698	0.1431	0	0	0

上例では,  $\varphi = 0^\circ$  (選択上限) および  $\varphi = 10^\circ$  における L. R. を求めるためには (5) および (8) 式を用いなければならない。これは本例の初期値 ( $\theta = 55^\circ$ ,  $\epsilon = 0.95$ ) を付録第 2 図にあてはめると  $\epsilon_i = 0.860$  ( $\varphi = 0^\circ$ ),  $\epsilon_i = 0.845$  ( $\varphi = 10^\circ$ ) が得られ, これらの  $\epsilon_i$  の値がいずれも初期値の  $\epsilon$  の値 (0.95) より小さいからである。 $\varphi = 35^\circ$  の場合では同様の手順にしたがって  $\epsilon_i = 0.968$  を得る。すなわち,  $\epsilon_i = 0.968 > \epsilon = 0.95$  であるから,  $\varphi = 35^\circ$  における L. R. を求めるためには (4) および (7) 式を用いなければならないことがわかる。ここで,  $\epsilon_i = 0.95$  になる  $\varphi$  を付録 (1.8) 式および付録第 2 図から求めると,  $\theta = 55^\circ$  の場合では  $\varphi = 33^\circ$  が得られる。したがって,  $\theta = 55^\circ$ ,  $\epsilon = 0.95$  の場合における L. R. を求めるためには  $\varphi < 33^\circ$  であれば (5), (8) 式を,  $\varphi > 33^\circ$  であれば (4), (7) 式を用いなければならないことになる。なお, 網目形状が菱形の場合には  $\epsilon$  の値の大小を考慮する必要がないので, (1), (2), (6) および (10) 式を用いて残留率が計算できる。

#### 4. 選択曲線

曳網中の網目形状は菱形を保持していることが知られている。その菱形網目の角度 ( $\theta$ ) は曳網速力によって多少変動することが認められているが, 通常の見網速力 (約 3 ノット) のときではほぼ  $60 \pm 5^\circ$  であるとみなして差し支えない<sup>7, 14)</sup>。もし, 網目の角度 ( $\theta$ ) が曳網時間を通じて一定に保たれているとすれば, (9) 式より  $\theta$  に対応する扁平な六角形網目の角度 ( $\alpha$ ) が決まる。したがって, 選択両限間における任意の  $2a/(T/4)$  に対応する残留率が扁平な六角形網目の場合も菱形網目の場合と同様に  $\theta$  および  $\epsilon$  (魚体の扁平度) の組合せによって求められることになる。本報告では 2 つの網目形状から得られる A. R. と L. R. の平均値を残留率に適用する。これは魚が網目を通り抜けるときに, すべての菱形網目が扁平な六角形に変形すると仮定しなかったことおよび網目の位置によって変形の難易が異なることを考慮したためである。理論選択曲線の座標軸には前報にならって横軸に  $2a/(T/4)$ , 縦軸に残留率を用いる。第 2 図 (A. B. C.) は  $\theta$  の変動巾を考慮して  $\theta = 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$  の場合における理論選択曲線群を魚体の扁平度別に示したものである。

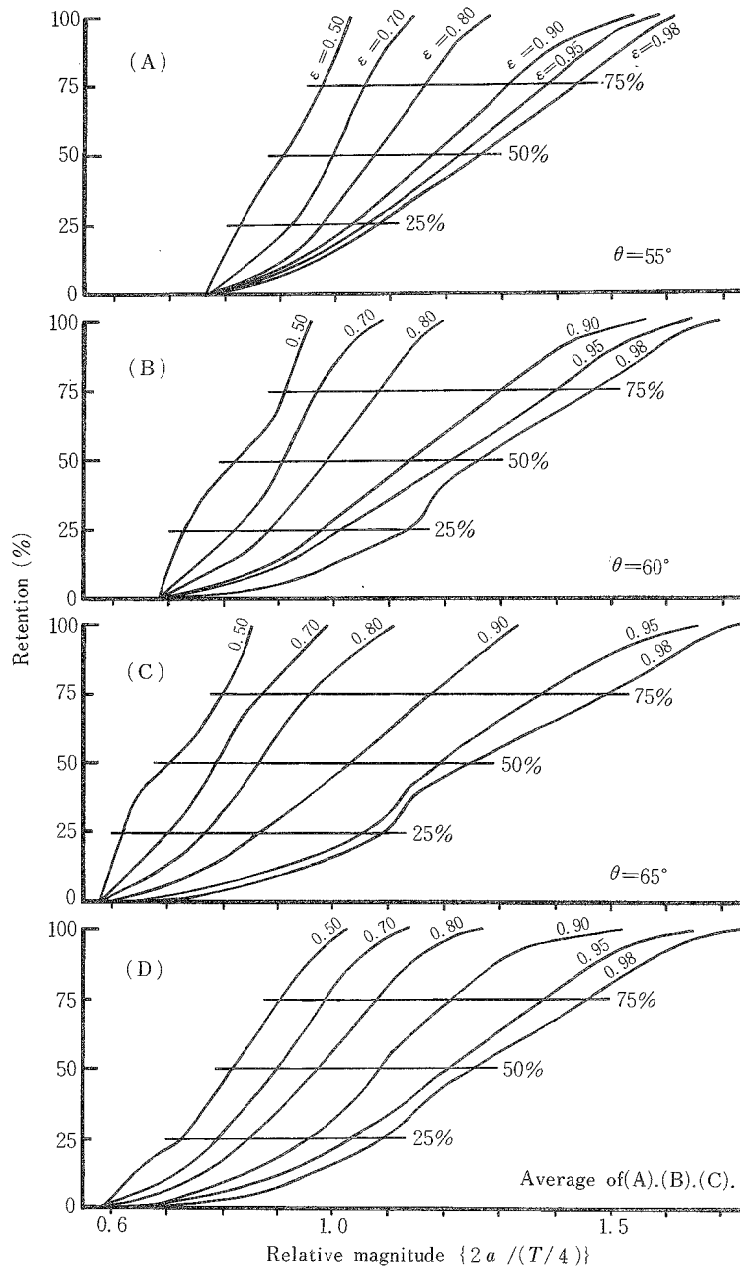


Fig. 2. Estimated theoretical selection curves by the use of geometrical relations between cross-sectional shape of fish body and mesh shapes.



$\theta$ の変動巾は上述のように曳網類では約 $10^\circ$ とみなせるが、旋網類では曳網類より小さいと思われる。したがって、第2図(A. B. C.)のように網目の角度別に求めた理論選択曲線は旋網類の選択性を調べるのに適しているといえよう。これに対し、曳網類の選択性を調べるには $\theta$ の変動巾を考慮に入れた理論選択曲線を推定しなければならない。この網目の角度の変動が選択性におよぼす影響は理論的に解析することが困難である。そこで、本報告では第2図(A. B. C.)の平均である第2図(D)が $\theta$ の変動を考慮に入れた理論選択曲線であるとみなす。第1表に $\theta$ と $\epsilon$ の組合せによって変化する選択の両限值および選択域の理論値を示

Table 1. The values of selection range and relative magnitude  $\{2a/(T/4)\}$  corresponding to the upper and lower selection limits by the mesh angle ( $\theta$  or  $\alpha$ ) and eccentricity ( $\epsilon$ ).

Mesh angle $\theta$ or $\alpha$ (Deg.)	$\epsilon^*$	Values of selection limits **		Selection range (A) - (B)
		Upper (A) $\{2a/(T/4)\}_{R=100\%}$	Lower (B) $\{2a/(T/4)\}_{R=0\%}$	
55 (39.7)	0.50	1.0301	0.7698	0.2603
	0.70	1.1470	Do.	0.3772
	0.80	1.2830	Do.	0.5132
	0.90	1.5408	Do.	0.7710
	0.95	1.5860	Do.	0.8162
	0.98	1.6165	Do.	0.8467
60 (47.1)	0.50	0.9608	0.6813	0.2795
	0.70	1.0889	Do.	0.4076
	0.80	1.2010	Do.	0.5197
	0.90	1.5629	Do.	0.8816
	0.95	1.6421	Do.	0.9608
	0.98	1.6938	Do.	1.0125
65 (54.4)	0.50	0.8593	0.5828	0.2865
	0.70	0.9910	Do.	0.4082
	0.80	1.1123	Do.	0.5295
	0.90	1.3370	Do.	0.7542
	0.95	1.6619	Do.	1.0791
	0.98	1.7466	Do.	1.1638
Average of 3 mesh angle	0.50	1.0301	0.5828	0.4473
	0.70	1.1470	Do.	0.5642
	0.80	1.2830	Do.	0.7002
	0.90	1.5629	Do.	0.9801
	0.95	1.6619	Do.	1.0791
	0.98	1.7466	Do.	1.1638

Notes: \*  $\epsilon$  is the eccentricity of the cross-sectional shape on the assumption that fish body has an elliptical form.  
 \*\*  $\{2a/(T/4)\}_{R=100\%}$  and  $\{2a/(T/4)\}_{R=0\%}$  indicate the values of relative magnitude at 100% and 0% retention points, respectively.  
 Figures in parentheses show the mesh angle of the wide-shaped hexagonal mesh.

す。第2図および第1表から、目合が一定のときには選択性におよぼす主要因が網目の角度( $\theta$ )と魚体の扁平度( $\epsilon$ )であることがよくわかる。すなわち、(I) 0% 選択点は $\theta$ が大きくなるにつれて次第に左方へ移動する。しかし、100% 選択点は $\theta$ が変化してもあまり変化しない。(II) 選択域は $\theta$ および $\epsilon$ が大きくなるにつれて広がる。(III)  $\theta$ が一定であれば、曲線傾斜は $\epsilon$ が大きくなるにつれてゆるやかになる。(IV)  $\epsilon$ が一定であれば、曲線傾斜は $\theta$ が大きくなるにつれてゆるやかになる。(V)  $\epsilon = 0$ であっても絶対選択にはならない。

### 実際資料との比較結果

理論選択曲線 (第2図D) が実際に利用できるかどうかを検討するため、ここでは0, 25, 50, 75および100% 選択点における理論値と実験値を比較することにする。各選択点に対応する理論値が $2a/(T/4)$ で与えられているので、これらの値を体長に換算して実験値と比較する。本報告で用いる実験値 (体長) はすべて青山の報告<sup>1,2,3,4,5)</sup>の中から選んだ。この報告には少数の漁獲尾数から選択曲線が推定されている魚種も少なくない。このような魚種を選択曲線にはかなりの誤差が含まれている。したがって、比較される実験値としてはなるべく多くの漁獲尾数から選択曲線が推定された魚種の中から選びだすことがのぞましい。また、実験値の選択に当ってはなるべく多くの魚種 ( $\epsilon$  の値が異なる魚種) を対象にして、広範囲の目合について調査されていることを考慮しなければならない。しかし、このような諸条件を同時に満足する魚種が得られたとしても、それらの詳しい魚体測定資料がなければ、理論値を体長に換算することができない。この制約条件を考慮して、本節で比較する魚種には前報<sup>17)</sup>に示した8種に第2表に示す2種を加えた合計10種を選んだ。第2表に示した体高と体長の回帰式および $\epsilon$ の値は東支那海魚体測定要報<sup>25)</sup>と筆者の魚体測定結果<sup>18)</sup>を用いて計算した。各選択点における10魚種の実験値 ( $B.L.$ )<sub>Ex</sub>と体長に換算した理論値 ( $B.L.$ )<sub>Th</sub>とを比較した結果を第3表に示す。この表に示した体長 ( $B.L.$ )<sub>Th</sub>は前報<sup>17)</sup>および第2表の回帰式から求めたが、回帰式の適用限界からはずれた値を示すものも多い。この適用限界からはずれた値については多くの魚体測定資料を収集したうえで、逐次修正していくつもりである。

Table 2. The average eccentricity ( $\epsilon$ ) of the cross-sectional shape of fish body and regression equations between body length and body height or body breadth by species.

Species name *	$\epsilon$	Samples examined		Regression equations **	Correlation coefficient
		No.	Ranges of body length (cm)		
<i>Argyrosomus argentatus</i> (White croaker, Shiro-guchi)	0.87	10	15.6—19.3	$B.H. = 0.239 T.L. + 0.128$	0.700
<i>Rarabembras curtus</i> (Flat head, Uba-gochi)	0.45	14	16.2—22.2	$B.B. = 0.174 T.L. - 0.400$	0.930

Notes: \* Common names and Japanese names are given in parentheses.

\*\* The regression equations were determined on the data report of biometrical measurement of caught fishes in the East China and the Yellow Sea<sup>25)</sup>, Vol III, published by Seikai Regional Fisheries Research Laboratory in Nov, 1950 and the author's report<sup>18)</sup>.

In this table, T.L., B.H. and B.B. are abbreviations for Total length, Body height and Body breadth, respectively.

第3表の ( $B.L.$ )<sub>Th</sub>と ( $B.L.$ )<sub>Ex</sub>との差の符号が正 (負) になる場合には理論選択曲線が実測選択曲線の左 (右) にずれることを意味している。各選択点において ( $B.L.$ )<sub>Th</sub>と ( $B.L.$ )<sub>Ex</sub>の差が小さい魚種はクロウシノシタ・クログチ・ワニエソである。さらに、実験値に含まれる体長の誤差を考慮すれば、タチウオを除く9魚種では各選択点における ( $B.L.$ )<sub>Th</sub>を ( $B.L.$ )<sub>Ex</sub>の近似値とみなしてもよからう。しかし、タチウオではこの差が大きかった。この原因は他の魚種の体長に比べタチウオの体長が著しく長いので選択効果が

Table 3. Comparison of the derived body length from this theory  $(B.L.)_{Th}$  with the estimated body length from the experimental selection curves  $(B.L.)_{Ex}$  in five retention points by species and mesh size  $(T/4)$ .

No.	Species Science name	$\epsilon$	T/4 (cm)	Body length	Body length in the respective retention points (cm)				
					0%	25%	50%	75%	100%
1	<i>Tanakius kitaharai</i>	0.98	3.62	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	10.8	13.6	15.2	17.0	19.6
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	6.7	12.8	14.6	17.1	20.4
				Diff. (A) - (B)	4.1	0.8	0.6	-0.1	-0.8
2	<i>Rhinoplagushia japonica</i>	0.98	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	17.5	19.3	20.8	22.5	24.6
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	15.8	19.3	20.3	21.7	23.6
				Diff. (A) - (B)	1.7	0	0.5	0.8	1.0
3	<i>Trichiurus lepturus</i>	0.95	2.71	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	9.5	13.2	15.2	17.5	21.9
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	9.5	16.9	19.8	22.7	27.2
				Diff. (A) - (B)	0	-3.7	-4.6	-5.2	-5.3
Do.	3.99		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	—	19.5	20.3	24.2	30.7	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	12.6	22.6	26.4	30.3	36.3	
			Diff. (A) - (B)	—	-3.1	-6.1	-6.1	-5.6	
4	<i>Pseudosciaena manchurica</i>	0.89	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	12.1	13.2	14.8	16.6	19.4
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	6.0	11.5	13.2	15.1	19.7
				Diff. (A) - (B)	5.9	1.7	1.6	1.5	-0.3
Do.	3.62		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	—	16.5	19.2	21.7	25.0	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	7.8	14.4	16.5	18.7	24.3	
			Diff. (A) - (B)	—	2.1	2.7	3.0	0.7	
Do.	3.99		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	—	16.8	19.3	21.6	—	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	8.8	16.1	18.4	20.8	27.0	
			Diff. (A) - (B)	—	0.7	0.9	0.8	—	
Do.	5.78		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	—	23.3	31.0	34.2	42.5	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	15.7	24.3	27.7	31.2	40.2	
			Diff. (A) - (B)	—	-1.0	3.3	3.0	2.3	
5	<i>Argyrosomus argenteus</i>	0.87	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	10.7	12.0	13.4	15.4	20.0
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	6.8	11.5	12.9	14.4	18.4
				Diff. (A) - (B)	3.9	0.5	0.5	1.0	1.6
Do.	3.99		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	—	18.2	19.3	20.3	—	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	9.1	15.1	17.2	19.1	24.4	
			Diff. (A) - (B)	—	3.2	2.1	1.2	—	
6	<i>Argyrosomus nibe</i>	0.85	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	12.3	13.2	14.3	16.1	17.5
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	11.1	14.6	15.8	17.1	18.1
				Diff. (A) - (B)	1.2	-1.4	-1.5	-1.0	-0.6
Do.	3.03		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	9.5	13.4	14.8	16.0	20.0	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	11.1	14.8	16.0	17.3	20.0	
			Diff. (A) - (B)	-1.6	-1.4	-1.2	-1.3	-0.3	
7	<i>Suggrundus meerdervoorti</i>	0.80	3.99	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	12.5	18.0	20.3	22.0	—
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	13.4	20.8	23.7	26.5	31.8
				Diff. (A) - (B)	-0.9	-2.8	-3.4	-4.5	—
8	<i>Saurida tumbil</i>	0.50	2.71	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	14.5	17.3	18.6	20.0	22.7
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	13.7	16.7	18.4	20.2	22.7
				Diff. (A) - (B)	0.8	0.6	0.2	-0.2	0
Do.	3.99		$(B.L.)_{Ex}$ (A)	15.8	20.4	23.0	25.3	30.2	
			$(B.L.)_{Th}$ (B)	17.6	21.6	24.0	26.2	29.5	
			Diff. (A) - (B)	-1.8	-1.2	-1.0	-0.9	0.7	
9	<i>Uranoscopus japonicus</i>	0.50	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	9.0	10.2	11.8	14.2	19.2
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	8.7	10.8	11.9	13.1	14.8
				Diff. (A) - (B)	0.3	-0.6	-0.1	1.1	4.4
10	<i>Parabembras curtus</i>	0.45	3.00	$(B.L.)_{Ex}$ (A)	11.3	16.2	19.2	21.0	22.0
				$(B.L.)_{Th}$ (B)	12.4	14.7	16.0	17.7	19.8
				Diff. (A) - (B)	-1.1	1.5	3.2	3.3	2.2

Notes:  $(B.L.)_{Ex}$  were estimated from the selection curves referring to AOYAMA's papers<sup>1,2,3,4,5</sup>.  $(B.L.)_{Th}$  were calculated from the theory and regression equations as shown in Table 2 and the previous report<sup>17</sup>.

減少するためであると思われる。しかし、0% 選択点における体長差は他の選択点のそれに比べかなり大きくなる傾向がみられる。本来、0% 選択点の実験値はその点に対応する体長をもつ魚群が調査漁場に生息し

Table 4. The modified values of lower selection limit and selection range by the eccentricity ( $\epsilon$ ).

$\epsilon$	The modified values	
	$2a/(T/4)$	Selection range
0.50	0.5828	0.4473
0.70	0.590	0.557
0.80	0.625	0.658
0.90	0.650	0.943
0.95	0.675	0.987
0.98	0.700	1.047

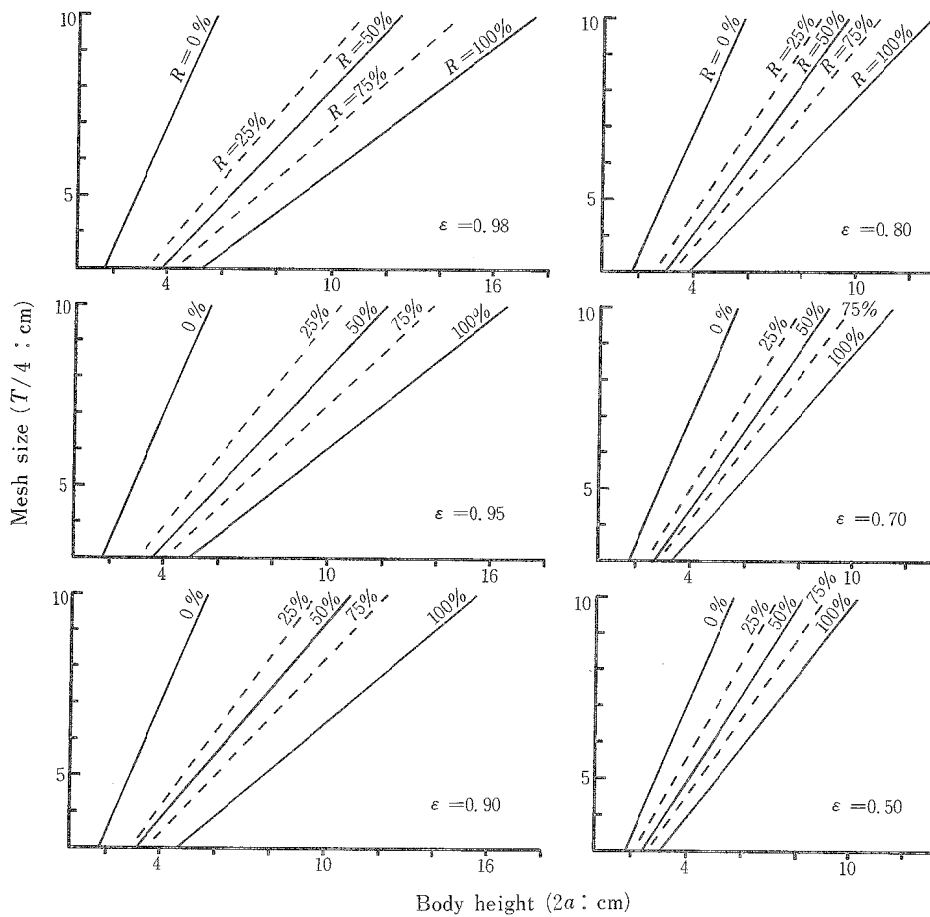


Fig. 3. The body height at five retention points by mesh size (T/4) and eccentricity ( $\epsilon$ ).

ていたかどうかによって変動するものであって、その妥当な値を推定することははなはだ困難である。このことはクログチの0% 選択点における実験値で目合にほとんど差がないにもかかわらず下限体長に2.8 cmの差を生じている例をみても明らかである。このような実験値推定の困難性が0% 選択点の体長差を大きくする第一の原因であろう。さらに、各魚種の0% 選択体長の理論値が回帰式の適用限界から大きくはずれていることも、その原因の一つである。

第2図(D)に示した理論選択曲線は $\epsilon$ の値が大きくなるにつれて、選択下限付近で次第に水平軸の方へ傾き、 $R=0\%$ の横座標に漸近した部分が長くなる。とくに、 $\epsilon$ が0.90以上の値であれば、0~1% 間における選択の「鋭さ」は極端に鈍くなるので、1% 選択点を0% 選択点とみなしても差し支えない。そこで $\epsilon \geq 0.7$ の場合における各選択曲線の1% 選択点を実質的な0% 選択点とみなせば、第1表に示した0% 選択点と選択域の値は第4表のように修正される。修正された0% 選択点を用いて計算した体長差は第3表に示した0% 選択点における体長差より小さくなることが認められた。第2図(D)は選択の「鋭さ」を調べるのに好都合であるが、目合の差が選択性におよぼす影響を調べるには不便である。また、上述のように理論値を体長に換算して実験値と比較する方法も面倒である。したがって、ここでは前報の手法に準じて、目合と各選択点の関係を魚種別( $\epsilon$ の大小別)に図示することにした。第3図は横軸に体高(2a)をとり、目合が変化したときに各選択点における残留率がどのように変動するかを示したものである。この図の横軸に体高と体長の回帰式から求めた体長を併記しておけば、理論値と実験値の比較はより簡便になる。図中の各直線群はいずれも $T/4 = k \cdot 2a$ の一般式で与えられ、すべて原点( $2a=0, T/4=0$ )を通る。ただし、 $k$ は比例定数である。したがって、第3図から選択の「鋭さ」を知るためには、図示された各選択点の横軸上の間隔が広がるほど選択が鈍くなることを利用すればよい。

漁業資源の管理に必要な規制目合は重要魚種の50% 選択点を基準にして決められる<sup>6)</sup>。50% 選択点に関する変数をまとめて第4図に示した。第3図および第4図に示した目合( $T/4$ )は3.0~10.0 cmである。

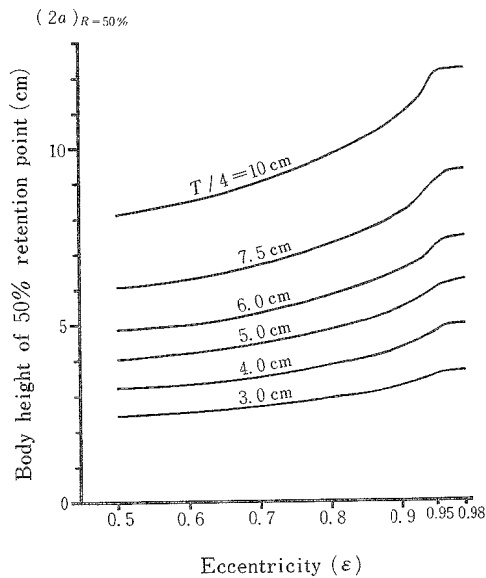


Fig. 4. The body height at 50% retention point ( $2a$ )<sub>R=50%</sub> corresponding to the respective  $T/4$  and  $\epsilon$  values.

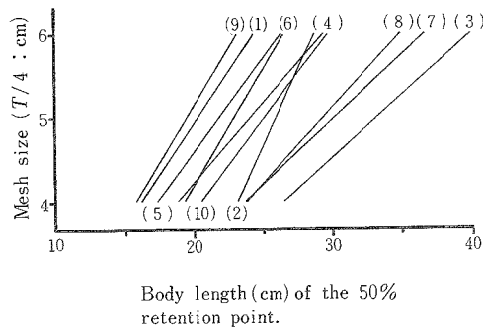


Fig. 5. Relation between mesh size and body length at 50% retention points by species. Figures in parentheses show the species number in Table 3.

この目合巾は、現行の規制目合が拡大強化された場合の参考資料が得られるよう配慮して決定した。いま、仮に目合 (T/4) が 4.0 cm (80mm 目合), 5.0 cm (100mm 目合), 6.0 cm (120mm 目合) のうちのいずれかに拡大されるとすれば、それらの網目によって漁獲される 50% 選択体長は第 5 図のように予測される。

## 考 察

曳網類の網目は緊張した状態で曳網されているため、1つの網目を構成する4脚の網糸は一見すると剛体のように思われる。しかし、現在までに調査された各種の選択曲線<sup>1,2,3,4,5)</sup>から100%選択点(残留点)における魚体の胴周を逆算すれば、その胴周の長さは網目の内周とほとんど変わらない。このことは網糸が可撓的であって、剛体ではないことを示している。また、曳網中の網目には曳網時間を通じて一定で、不変の張力が作用しているのではないから、網目の緊張度は曳網速力の微少な変化にもなって刻々変化している。つまり、曳網中の網目には緊張度の強弱現象が連続して起っていると解釈される。網目の緊張度が弱いときには網目が多少可撓的になる。この場合、魚が網目を通り抜けようとするれば、菱形を呈していた網目は魚体断面形状に合致するほど極端に変形しないまでも、多角形に近似できる程度には変形できよう。網目の可撓性に関して、CLARK<sup>12)</sup>は種々の目合のトロール網を用いて実験した結果、目合の大小が網目の可撓性を左右する主要因であると指摘している。このほかに、網目の可撓性を左右する要因としては曳網速力(網目の緊張度)、網糸の柔軟性と撚り数の多少などがある<sup>6)</sup>。前報で求めた理論選択曲線では25~75%選択点間において理論値が実験値にほぼ一致したが、選択両限値では実験値との比較をしていない。これは前報では網糸を剛体とみなし、網目をすべて合同の菱形と仮定したため、選択両限における理論値が実験値に近似できないと予想されたからである。そこで、本研究では前報の諸仮定のうち、網目に関する仮定を現実的と思われる仮定に改めることによって、より実用的な理論選択曲線を求めることにした。すなわち、網目形状としては上述の網目の緊張度を考慮して、可撓的な網目には扁平な六角形を、緊張して展開している網目には前報と同じ菱形をそれぞれ近似させたのである。第2図に2つの網目形状と魚体断面形状の相互関係に基づいて理論的に求めた選択曲線群を示した。これらの選択曲線が実地に適用できるかどうかを検討するため、青山の実測選択曲線と比較して第3表を得た。その結果、タチウオを除いた9魚種の選択曲線は本理論式から推定できることが明らかになった。タチウオについては外部形態の特徴を考慮して、Girth factor<sup>13)</sup>(体長と胴周の比)などを理論式に導入すれば適用することが可能な選択曲線が得られるものと期待される。第3表の100%選択点における体長差はタチウオを除くと、-0.8~4.4 cmである。体長差の符号が負の場合には体長差の値が小さく、正の場合にはその値が大きいため、網目はかなり可撓的とみなすのが妥当であろう。このことはCLARK<sup>12)</sup>の実験結果と一致する。100%選択点での体長差を大きくする要因には上述した網目の可撓性ばかりでなく魚体の可撓性と圧縮性などが考えられる。これらの要因を模式的に示したのが第6図であ

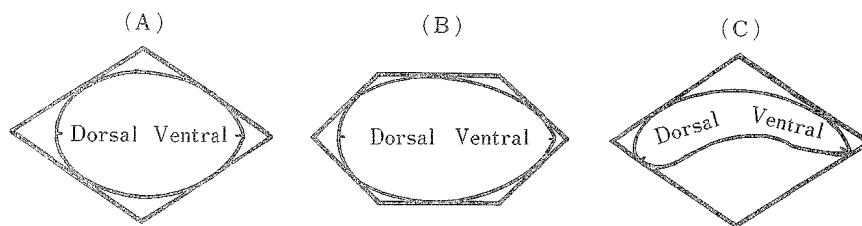


Fig. 6. Schematic diagrams between mesh shapes and cross-sectional shapes of fish body.

- Notes: (A) Inelastic fish body enclosed by a rigid mesh.  
 (B) Inelastic fish body enclosed by a slightly flexible mesh.  
 (C) A slightly flexible fish body enclosed by a rigid mesh.

る。つぎに、第3表の資料および第6図を用いて100% 選択点における体長差について総合的な検討を加えてみる。ここで取り扱う魚体の圧縮性とは魚体の最大胴周が網目内周より大きいため、当然漁獲される魚体を死亡させることなく網目から逃げ出せる程度に圧縮して測定された胴周から推定する。MARGETTS<sup>20)</sup>はHaddockとWhitingについて圧縮しない自然胴周(N.G.)と圧縮胴周(C.G.)を測定し、両者をそれぞれ体長(全長:T.L.)の回帰式で表わした。これらの回帰式はつぎのとおりである。

$$\text{Haddock : } N.G. = 0.559 T.L. - 1.508 \dots (T.L. = 21 \sim 55 \text{ cm}) \dots (12)$$

$$C.G. = 0.513 T.L. - 0.615 \dots (T.L. = 21 \sim 55 \text{ cm}) \dots (13)$$

$$\text{Whiting : } N.G. = 0.543 T.L. - 1.739 \dots (T.L. = 17 \sim 44 \text{ cm}) \dots (14)$$

$$C.G. = 0.538 T.L. - 2.903 \dots (T.L. = 27 \sim 37 \text{ cm}) \dots (15)$$

また、彼が測定した圧縮胴周は測定時に輪索を徐々に引っ張って魚体が網目から通り抜ける程度まで締めつけたときの値である。

ここで、魚体の圧縮性を数値化するため魚体圧縮率(R.C.)を次式のように定義する。

$$R.C. = (N.G. - C.G.) \times 100 / N.G. \dots (16)$$

第5表に(12)～(16)式から求めた両種のR.C.を示す。この程度まで魚体が圧縮されても魚が活力を失

Table 5. Constriction of the fish body by species and total length (T.L.).

Species	T.L.	Rate of constriction (%)
Haddock	25.0	2.0
	30.0	3.2
	35.0	3.9
	40.0	4.6
	45.0	5.0
	50.0	5.3
	55.0	5.6
Whiting	30.0	9.2
	35.0	7.9

Note: The rate of constrictions were calculated from the constricted girth and natural girth referring to MARGETTS's paper<sup>20)</sup>.

なわずに網目を通り抜けることができるなら、第2図の100% 選択点は右の方へ大きくずれることになる。MARGETTS<sup>20)</sup>は(12)～(15)式から柔軟な網目の100% 選択点を求め、この値が選択曲線の信頼性のチェックとして役立つばかりでなく、異なる網目の選択性の推定基礎になると述べている。換言すれば、概略の網目の可撓性や魚体の可撓性(第6図C)が胴周と網目内周を用いて推定できるといえよう。そこで、本理論の前提においた可撓的な網目の近似形状が妥当であるかどうかを検討するため、第3表に示した魚類のR.C.を計算し第6表に示した。この表のR.C.の値は(16)式のN.G.およびC.G.にそれぞれ楕円周(G: 胴周)、網目内周の実測値<sup>5)</sup>(T')を代入して計算した。所要の楕円周は体高(2a: 楕円長径)と数値離心率(ε: 魚体の扁平度)を付録第3図に当てはめて得られる。この図の2aには、100% 選択点における実測値を体高-体長の回帰式に代入し、得られる体高を当てはめればよい。第6表から、曳網類のコッドエンドの網目は魚が網目を通り抜けるときにかなり変形すると想像される。すなわち、 $G \geq T'$ であれば、理論的には網目を完全に可撓的のみなきななければならない。しかし、魚体のR.C.もかなり大きいと考えられることから、 $G > T'$ であってもその差が小さければ、網目の可撓性は小さくならう。また、 $G < T'$ であってもその差が大きければ、網目の可撓性はほとんど失なわれていると判断されよう。この場合、網目の可撓性が小

さくても魚体の可撓性が大きければ、100% 選択点は体長の大きい方へずれることになる。第6表中のクロウシノシタ、シログチ、およびミシマオコゼでは他の6種の魚類や第5表の計算結果と比較すると  $R.C.$  が過大である。この3種の実験値については網目形状の不同および網糸の伸びなどが選択性におよぼす影響を考慮すれば真の100% 選択点が理論値に近い値をもつものと想像される。以上のように、MARGETTS<sup>20)</sup>の考

Table.6 Constriction of fish body estimated from the body girth (circumference of ellipse) and inner circumference of mesh ( $T'$ ).

Species	$\varepsilon$	Mesh size (cm)		100% retention point (cm)			Constriction	
		$T/4$	Inner circumference ( $T'$ )	Body length	Body height	Maximum girth ( $G$ )	$(G) - (T')$ (cm)	$\{(G) - (T')\} / (G)$ (%)
<i>Tanakius kitaharai</i>	0.98	3.62	12.8	19.6	6.1	12.7	- 0.1	—
<i>Rhinoplagusia japonica</i>	0.98	3.00	10.0	24.6	5.7	11.9	1.9	15.95
<i>Trichiurus lepturus</i>	0.95	3.00	10.0	21.9	4.0	8.7	- 1.3	—
	Do.	3.99	13.5	30.7	5.7	12.2	- 1.3	—
<i>Pseudosciaena manchurica</i>	0.89	3.00	10.0	19.4	4.1	9.6	- 0.4	—
	Do.	3.62	12.8	25.0	5.7	13.3	0.5	3.76
	Do.	5.78	20.9	42.5	9.3	21.8	0.9	4.13
<i>Argyrosomus argentatus</i>	0.87	3.00	10.0	20.0	4.9	11.7	1.7	14.53
<i>Argyrosomus nibe</i>	0.85	3.00	10.0	19.5	4.2	10.2	0.2	1.96
<i>Saurida tumbil</i>	0.50	3.00	10.0	22.7	3.1	9.1	- 0.9	—
	Do.	3.99	13.5	30.2	4.3	12.4	- 1.1	—
<i>Uranoscopus japonicus</i>	0.50	3.00	10.0	19.2	4.0	11.8	1.8	15.25
<i>Parabramas curius</i>	0.45	3.00	10.0	22.0	3.4	10.2	0.2	1.96

え方を逆に応用すれば、100% 選択点における魚体の胴周と網目内周からある程度の網目の可撓性が推定できるばかりでなく、100% 選択点の体長誤差も修正できる。第6表の計算結果は魚が網目を通り抜けるときに、網目が変形し得ることを示しているが、可撓的な網目の近似形状として扁平な六角形が適切であることを示しているのではない。適切であるかどうかは100% 選択点における理論値を得た後に、この理論値と実験値との差の大小によって帰納的に判断されるべきである。第3表に示したように100% 選択点の体長差が小さいので、扁平な六角形網目が可撓的な網目を代表しているものと思われる。

わが国の以西底曳網漁業の規制目合 (54.5mm: 2脚2節長) は1963年12月に実施された<sup>6)</sup>。この規制目合は漁業生物学的な調査資料や各種の網目試験などの調査結果から推定された適正目合より小さい。規制前の目合が約36mmであったといわれているので<sup>6)</sup>、目合は約19mm拡大されたにもかかわらず、適正目合に達していない。これはこの漁業が重要産業であったことおよび目合の拡大によって漁業者がこうむる経済的打撃などを考慮しなければならなかったからであろう。網目規制以来10年が経過した現在の東海・黄海漁場では数年前より魚体が急激に小型化し、漁獲量も漸減傾向を示している。このため、以西底曳漁船は閑漁期に当る夏期には一時的に他種漁業への転換を余儀なくされている。この現状を見て、土井<sup>16)</sup>は目合を80-100mmに拡大強化した場合のキングチ資源について理論的な検討を加えた結果、規制目合を拡大すべきであると提言している。第5図は新たに目合の拡大規制を行なう場合の基礎資料として利用できるばかりでなく、規制後の漁獲量の推算にも活用できると考えられる。



## 要 約

前報のように網糸を剛体とみなして選択曲線を理論的に求めると、得られる曲線群はいずれも選択下限に近づくにつれて実測値への近似が悪くなる。この欠点を補正するため、本研究では前報の理論に網目の可撓性を導入することによって、実測選択曲線によく近似できる理論選択曲線の新しい推定法について述べた。曳網中の網目の可撓性については理論的にも実験的にも詳しく解析されていないので、可撓的な網目の近似形状には扁平な六角形を、あまり可撓的ではない網目には菱形を当てはめた。本理論から求めた0、25、50、75および100%の各選択点における理論値を体長に換算して実験値と比較した結果、第2図Dは実地に適用できる程度の精度をもつ選択曲線であると判断される。理論値が実験値によく当てはまることは扁平な六角形網目が可撓的な網目の近似形状としてほぼ妥当であったことを裏付けていよう。

曳網類では漁獲対象魚類が多種にわたるので適正目合を決定することが困難である。また、網目規制が拡大強化されると、体長の小さい魚は漁獲されなくなる。このような目合の拡大規制に伴う網目選択性の変化や漁獲量の減少を予測するには当該目合の選択曲線を用いるのがもっともよい。第3図、第4図および第5図を利用すれば、適正目合を決定するための基礎資料が得られるばかりでなく、その目合に対する漁獲量のある程度予測することができるものと考えられる。

終りに、本研究を進めるに当たり、網目の可撓性に関する貴重な資料および有益な助言をいただいた東京大学教授黒木敏郎博士、ならびに、終始かわらぬご支援をいただいた九州東海大学佐藤猛郎教授に厚くお礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 青山恒雄・北島忠弘, 1959: 底曳網の網目の選択作用—II—. 50尺おおい網式トロール網による網目試験. 西海区水研報, (16), 1—20.
- 2) ————, 1959: 底曳網の網目の選択作用—V—. 44mおおい網式トロール網における72mm目の選択作用. 西海区水研報, (18), 11—24.
- 3) ————, 1959: 底曳網の網目の選択作用—VI—. 75トン型機船底曳網における55mm目の選択作用. 西海区水研報, (18), 25—49.
- 4) ————, 1961: 底曳網の網目の選択作用—VII—. 44mおおい網式トロール網における60mm目の選択作用. 西海区水研報, (18), 51—67.
- 5) ————, 1961: 底びき網の選択作用とその以西底びき網漁業管理への応用. 西海区水研報, (23), 1—63.
- 6) ————, 1964: 底びき網の網目の研究. 水産研究叢書, 2, 1—40. 日本水産資源保護協会.
- 7) BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT, 1957: On the Dynamics of Exploited Fish Populations. *Fish. Invest., Ser. 2*, (19), 1—533.
- 8) ————, 1957: Mesh Selection of Cod (North Sea and Arctic) and Haddock (Arctic). *ICNAF. Joint Sci. Meet. Pap. S-4*, 1—2.
- 9) BOROWIK, J., 1930: On What does the Catch of Undersized Fish depend? First Report on the Polish Research on Saving-Trawls. *J. du Cons.*, 5 (2), 197—215.
- 10) BUCHANAN-WOLLASTON, H. J., 1927: On the Selective Action of a Trawl Net, with Some Remarks on Selective Action of Trawl Nets. *J. du Cons.*, 2 (3), 343—355.
- 11) ————, 1929: The Selective Action of the Gelder Cod-End and That of Other Cod-Ends compared. *J. du Cons.*, 4 (3), 300—308.
- 12) CLARK, JOHN R., 1957: Escapement of Silver Hake through Cod Ends. Summary of U. S. Experiments. *ICNAF. Joint Sci. Meet. Pap. S-26*, 1—17.

- 13) CLARK, JOHN R., F.D. MCCracken and W. Templeman, 1958: Summary of Gear Selection Information for the Commission Area. *ICNAF. Ann. Proceedings*, 8, for the year 1957-1958. 83-99.
- 14) ————, 1958: Underwater Television Observations on the Effect of Chafing Gear on the Escapement of Haddock. *ICNAF. Ann. Proceedings*, 8, for the year 1957-1958. 101-102.
- 15) DAVIS, F.M., 1929: Preliminary Notes on Experimental Trawling with Cod-End Meshes of Different Sizes. *J. du Cons.*, 4 (3), 287-299.
- 16) 土井長之, 1973: 水産資源の現状と漁業. 昭和48年度日本水産学会秋季大会シンポジウム講演要旨集. 156.
- 17) 藤石昭生, 1973: 網目選択性に関する理論的研究—I. 曳網類の理論選択曲線について. 本報告, 22(1), 1-28.
- 18) ————, 1973: 網目選択性に関する理論的研究-III. 魚体断面形状が選択性におよぼす影響について. 昭和48年度日本水産学会秋季大会講演要旨集. 108.
- 19) LUCAS, C.E., A. RITCHIE, B.B. PARRISH and J.A. POPE, 1954: Mesh Selection in Roundfish Seine. *J. du Cons.*, 20(1), 35-50.
- 20) MARGETTS, A.R., 1954: The Length-Girth Relationships in Haddock and Their Application to Mesh Selection. *J. du Cons.*, 20(1), 56-61.
- 21) ————, 1954: Selection of Soles by the Mesh of Trawls. *J. du Cons.*, 20(3), 276-289.
- 22) RUSSEL, E.S. and T. EDSEr, 1926: The Relation between Cod-End Mesh and Size of Fish Caught. *J. du Cons.*, 1(1), 39-54.
- 23) 佐藤猛郎, 1955: 網漁具の選択作用に関する理論的考察. 日本水産学会昭和30年度秋季大会講演要旨集. 67-68.
- 24) SCOTTISH HOME DEPARTMENT MARINE LABORATORY, 1952: Underwater Photography of the Seine Net whilst Fishing. *World Fishing, Dec.* 1(9), 329-334.
- 25) 西海区水産研究所, 1950: 東支那海魚体測定要報 (精密調査の部). 3. 1-242.
- 26) ————, 1951: 底曳資源調査研究連絡. *Dec.* (10). 11-24.
- 27) 水産研究者協議会, 1960: 水産科学, 8(27), 27-35.

## 付 録 (1)

扁平な六角形網目の選択下限は本文中の第1図より, 楕円の長径 ( $2a$ ) が  $\overline{PP'}$  に等しいときに対応する。  
すなわち,

$$2a = 2\overline{OP} = 2\overline{RS_1}$$

ここで,  $\overline{AB} = \overline{BC} = T/4$ ,  $\overline{BS_1} = \overline{PS_1} = T/8$ ,  $\angle AQS_1 = \angle RS_1B = \alpha$ ,  $\angle OAB = \angle OCB = \theta$  とすると,  $\triangle OAB$  および  $\triangle RS_1B$  よりそれぞれつぎの各式が成立する。

$$\overline{OB} = (T/4) \sin \theta$$

$$\overline{RB} = (T/8) \sin \alpha$$

さらに,

$$\overline{OB} = \overline{OR} + \overline{RB}, \text{ ただし, } \overline{OR} = \overline{S_1P} = T/8$$

$$\therefore (T/4) \sin \theta = (T/8) + (T/8) \sin \alpha$$

$$\therefore \sin \alpha = 2 \sin \theta - 1$$

また、 $\triangle RS_1B$  より

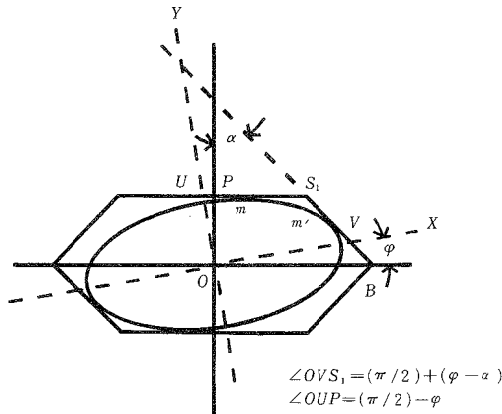
$$\overline{S_1R} = (T/8) \cos \alpha, \quad \overline{S_1R}^2 = \overline{S_1B}^2 - \overline{RB}^2$$

$$\overline{RB} = \overline{OB} - \overline{OR} = (T/8) (2 \sin \theta - 1)$$

$$\therefore \cos \alpha = 2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta}$$

選択上限は付録第1図からつぎのように求められる。この図は $\angle VOB = \varphi$ を一定としたときに、楕円周上の2点 $(m, m')$ が扁平な六角形の2辺 $\overline{PS_1}$ および $\overline{BS_1}$ に内接した状態を示す。ここで楕円の長径 $(2a)$ および短径 $(2b)$ をそれぞれ $X$ 軸、 $Y$ 軸とし、 $O$ を原点にとれば、楕円の一般式はつぎのとおりである。

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1 \dots\dots\dots (1 \cdot 1)$$



App. fig. 1. Inscribed ellipse in the wide-shaped hexagonal mesh at the condition under which  $\varphi$  is held constant.  $m$  and  $m'$  indicate the points of contact with  $\overline{PS_1}$  and  $\overline{BS_1}$ .

また、楕円の数値離心率 $(\epsilon)$ は次式で与えられる。

$$\epsilon = \sqrt{a^2 - b^2}/a \dots\dots\dots (0 \leq \epsilon < 1) \dots\dots\dots (1 \cdot 2)$$

$$\triangle OUP \text{ より, } \overline{OU} = (T/4) \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \cos \varphi$$

を得る。ゆえに、 $S_1$ および $P$ の2点を結ぶ直線が $(1 \cdot 1)$ 、 $(1 \cdot 2)$ の各式よりつぎのように得られる。

$$y = (-\tan \varphi)x + (T/4) \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \cos \varphi \dots\dots\dots (1 \cdot 3)$$

楕円周上の $m$ 点が $\overline{PS_1}$ と接するためには次式が成立しなければならない。

$$a^2 (-\tan \varphi)^2 + a^2 (1 - \epsilon^2) = \left\{ (T/4) \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \cos \varphi \right\}^2$$

これを整理すると

$$2a/(T/4) = 2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \sqrt{1 - \epsilon^2 \cos^2 \varphi} \dots\dots\dots (1 \cdot 4)$$

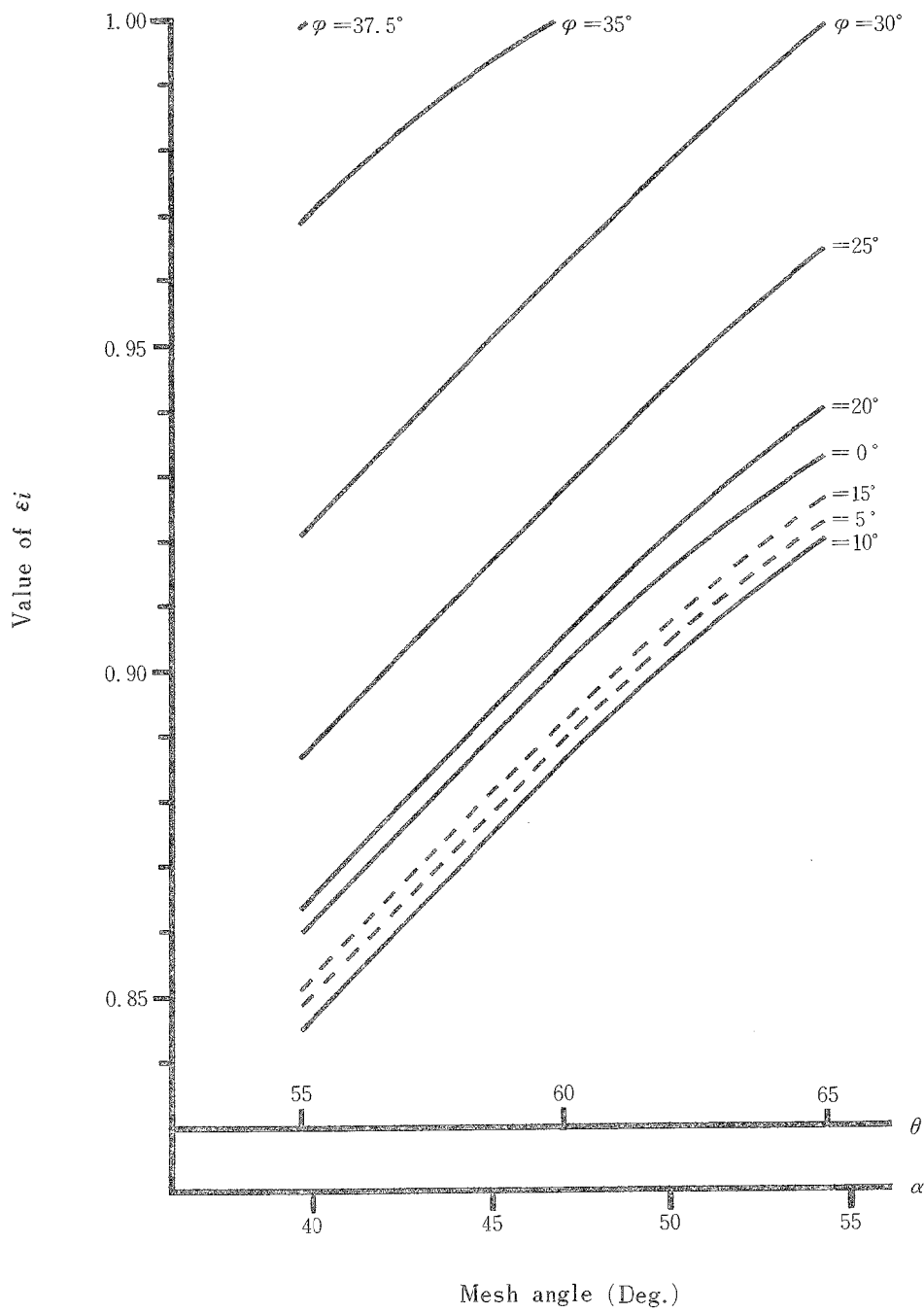
一方、楕円周上の $m'$ 点が $\overline{BS_1}$ に接する場合にはつぎの関係式が得られる。

$\triangle BOV$  より

$$\begin{aligned} \overline{OV} &= \overline{OB} \cdot \sin \{ (\pi/2) - \alpha \} / \sin \{ (\pi/2) + (\alpha - \varphi) \} \\ &= (T/4) \sin \theta \cos \alpha / \cos (\alpha - \varphi) \dots\dots\dots (1 \cdot 5) \end{aligned}$$

この $\overline{OV}$ は前報の付録(2)を応用して、 $a$ と $\epsilon$ の関数で表わすことができる。すなわち、

$$\overline{OV} = a \sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 (\alpha - \varphi)} / \cos (\alpha - \varphi) \dots\dots\dots (1 \cdot 6)$$



App. fig. 2. The  $\epsilon_i$  values corresponding to the combinations of the  $\phi$  values and  $\theta$  or  $\alpha$  values.

(1.5) = (1.6) とおいて次式を得る

$$2a/(T/4) = 2 \sin \theta \cos \alpha / \sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 (\alpha - \varphi)} \dots\dots\dots (1.7)$$

(1.4) 式は  $\varphi$  を一定とすれば、楕円の  $\epsilon$  が小さくなって楕円が次第に円形に近づく場合に、 $m$  が  $\overline{PS_1}$  と接するのであって、 $m'$  と  $\overline{BS_1}$  とは接することができないことを意味している。その反対に、(1.7) 式は  $\varphi$  を一定とすれば、楕円の  $\epsilon$  が大きくなって楕円が次第に扁平になる場合に、 $m'$  が  $\overline{BS_1}$  と接するのであって、 $m$  と  $\overline{PS_1}$  とは接することができないことを意味している。したがって、(1.4) = (1.7) とおいて、 $\epsilon$  について解けば、その値は  $\varphi$  が一定のときに、 $m, m'$  の2点が同時に  $\overline{PS_1}, \overline{BS_1}$  に接しているときの楕円の数値離心率になる。これを  $\epsilon_i$  とおけば次式が得られる。

$$\epsilon_i = \sqrt{\sin \theta (2 - \sin^2 \alpha) - 1} / \sqrt{\sin \theta \cos^2 \alpha \cos^2 \varphi - (1 - \sin \theta) \sin^2 (\alpha - \varphi)} \dots\dots\dots (1.8)$$

この  $\epsilon_i$  の値によって選択上限に適用する式が決まる。これをまとめて示すとつぎのようになる。すなわち、任意の  $\epsilon$  の値について、

$0 \leq \epsilon \leq \epsilon_i$  の場合には、選択上限を求める式は (1.4) 式において  $\varphi = 0$  とおけばよい。したがって、

$$2a/(T/4) = 2 \sqrt{\sin \theta - \sin^2 \theta} / \sqrt{1 - \epsilon^2} \dots\dots\dots (1.9)$$

$\epsilon_i \leq \epsilon < 1$  の場合には、選択上限を求める式は (1.7) 式において  $\varphi = 0$  とおけばよい。したがって、

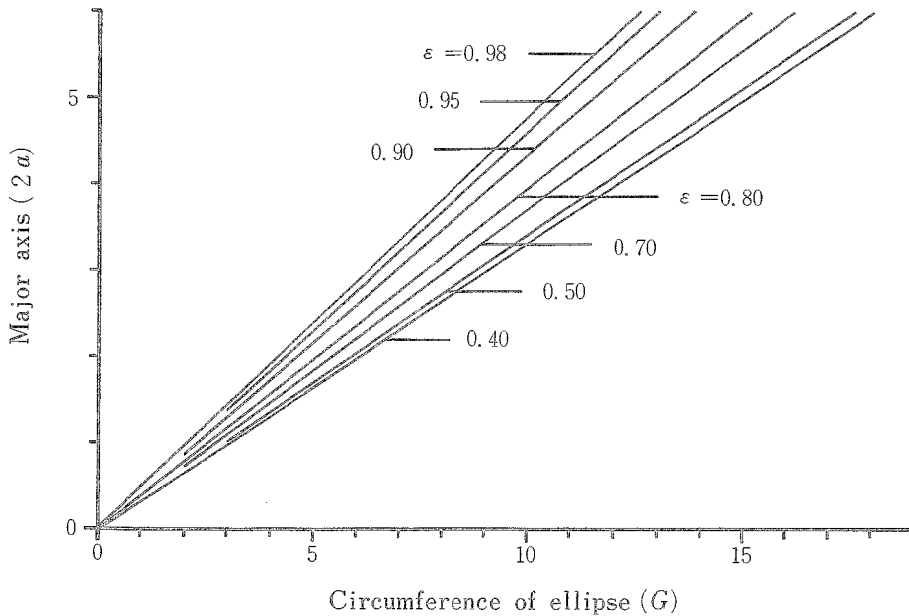
$$2a/(T/4) = 2 \sin \theta \cos \alpha / \sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \alpha} \dots\dots\dots (1.10)$$

また、選択下限に対応する式は  $\epsilon$  の大小を考慮する必要がないので (1.4) 式において  $\varphi = 90^\circ$  とおけばよい。

付録第2図は (1.8) 式の右辺の3変数 ( $\theta, \alpha, \varphi$ ) の組合せによって  $\epsilon_i$  がどのように変化するかを示したものである。

### 付 録 (2)

魚体断面形状が楕円であるとの仮定に基づいて、魚の胴周 ( $G$ ) をつぎの楕円関数から求める。



App. fig. 3. Relationship between circumference of ellipse ( $G$ ) and major axis ( $2a$ ) by the eccentricity ( $\epsilon$ ).

$$\begin{aligned}
 G &= 4a \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \phi} \, d\phi \\
 &= 2a\pi \left[ 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \varepsilon^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^4}{3} - \dots - \left\{ \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \right\}^2 \cdot \frac{\varepsilon^{2n}}{(2n-1)} - \dots \right] \cdot (2 \cdot 1) \\
 &\equiv 2\pi a \Phi \dots \dots \dots (2 \cdot 2)
 \end{aligned}$$

ここで、魚体の体高(2a)、体巾(2b)、扁平度(ε)がそれぞれ楕円の長径、短径、数値離心率に対応するものとする。(2・1)式において、εが既知であれば、Gは(2・2)式のように2aの一次式で与えられる。付録第3図は現在までに得られた各種の魚体の扁平度を(2・1)式に代入して、Gと2aの関係を表わしたものである。なお、この図は(2・1)式の括弧内のn=5項(ε<sup>10</sup>項)までを計算して得られたものである。