

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

藤 石 昭 生

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

By

Akio FUJISHI

There are many studies on the mesh selection of trawl net, drift net and other gears. Those studies were performed mainly experimentally by means of the trousers method or the cover-net system and the workers discussed the upper and lower limits and the point of 50 % selection as characteristics of the selectivity. RUSSELL and EDSE³⁴⁾ discussed the relation between cod end mesh and size of fish caught. FARRAN¹⁵⁾ studied on the mesh of herring gill-net in relation to the condition factor of the fish. MARGETTS²⁷⁾ examined the length-girth relationships in haddock and whiting and their application to mesh selection. GRAHAM¹⁷⁾, BEVERTON⁹⁾, MARGETTS²³⁾, GULLAND¹⁸⁾ and DAVIS¹⁴⁾ discussed the selectivity of different gears. BOEREMA¹⁰⁾ examined the nature of textiles as the factor influencing mesh selection. HODGSON²¹⁾, LUCAS²⁶⁾, RITCHIE²⁶⁾, PARRISH³²⁾, POPE²⁶⁾, ANCELLINE¹⁾ and AOYAMA⁶⁾ considered this problem of selection from their respective standpoint. But, especially in regard to trawl net, there are no theoretical methods for the selection curves and the mechanism of selection except a few workers' reports.^{1),22)} For example, SATOW²⁵⁾ tried to express theoretically the selection curves by applying an approximate method, in which he treated retention rate as a function of body height. His results, however, seemed slightly to deviate from actual selection curves.

The author commenced to study this subject in relation to the selectivity of trawl and seine nets and soon came to recognize the importance of this problem from the viewpoint of the analysis of fish resources. And he felt that the exploration of mechanism of selectivity is a pressing need. In this report, the author presents a trial as the first

*水産大学校研究業績 第697号, 1973年7月20日 受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 697.

Received July 20, 1973.

approach under the assumption that the cross-sectional shape of fish body has an elliptical form and the meshes in the cod end have quite a stiff diamond shape at normal towing speeds. Furthermore, he assumed that the major axis of ellipse is proportional to body length and lateral line of fish body is kept in a vertical position when fishes strike against the mesh.

Assuming that here is a diamond-shaped mesh having an inner circumference T and wider angle 2θ and that fishes have major axis $2a$ and eccentricity ϵ dash against this mesh, three cases are distinguished as follows;

- 1) If $2a$ is not longer than $\frac{T}{4}\sin 2\theta$, fishes can pass through this mesh quite freely. In this case the major axis of cross-section is not greater than the distance between two opposite sides of this mesh $\frac{T}{4} \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \theta}}$.
- 2) If $2a$ is larger than $\frac{T}{4} \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \theta}}$, no fish can pass through this mesh.
- 3) When the value of $2a$ lies between the above-mentioned limits, fishes are selected. Namely, some fishes can escape and others can not pass through this mesh. And, there are two cases as follows;

(1) The major axis lies in the same side with the shorter diagonal line of this lozenge, or

$$\frac{T}{4} \sin 2\theta < 2a \leq \frac{T}{4} \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \cos^2 \theta}}$$

where $2\theta \geq 90^\circ$ a certain rate of fishes can pass through this mesh.

(2) The major axis lies in the same side with the longer diagonal line or

$$\frac{T}{4} \sin 2\theta < 2a \leq \frac{T}{4} \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \theta}}$$

where the angle 2θ is not narrower than a right angle, the fishes are selected. Then, the relative magnitude of body height to a mesh of cod-end can be expressed by means of a measure $\frac{2a}{T/4}$, and whether fishes have the same value of relative magnitude in making those escapes or not can be considered as the problem of the difficulty of escape and of probability depending strongly on fish behavior. Those difficulty and probability or rate of "retention" must be generated from a measure related to the relative magnitude. He adopts the ratio of the immovable angle to the movable angle of ellipse in the lozenge as this difficulty and the ratio of the area surrounded by the path a center of ellipse describes in the neighbourhood of a center of the lozenge to the area of lozenge as this probability. The angle ratio and area ratio are given in a function of relative magnitude, so he symbolizes the rate of retention as the average of two ratios at the value corresponding to the relative magnitude. Therefore, if he considers the rectangular co-ordinate with the relative magnitude as X axis against the percentage as the Y axis, the results of calculation are shown as the theoretical selection curves for combinations of θ and ϵ . After investigating the obtained curves, the following results were found out:

- 1) The degree of slope of selection curve is to a great degree dominated by the eccentricity ϵ , as shown in Fig. 4. Namely, the sharpness of selection is considered to be

much more controlled by the cross-sectional shape of fish body than by the shape of mesh.

2) It became clear that the magnitude of mesh angle θ exerts significantly influence upon the limit values of $\frac{2a}{T/4}$. But the magnitude of θ exerts certainly some influence on the sharpness of selection.

3) When θ is held constant;

The point of 0% retention takes the same values for each ε and the position of 100% point shifts toward the lefthand side (or the rate of retention at that point increases) as the value of ε increases.

In the case of the same value of θ ;

The slope of selection curves increases with ε . Especially, the slope in the upper part of 50% retention point increases seriously greater than that in the lower part of 50% point. If ε is small, the selection is very sharp (for example, at the value of $\varepsilon = 0.5$), and the sharpness of selection became dull as the value of ε increased. The rising part of the selection curves are extremely sharp even if ε is considerably great. When $\varepsilon = 0$ (the shape of cross-section is perfectly circular), the selection is absolute for every θ .

4) The selection range became wider as θ and ε increased.

5) If he writes $2a$ to replace the letter $\frac{2a}{T/4}$ as X axis and substitutes several constants for mesh size $\frac{T}{4}$, the selection curves corresponding to these mesh size may be described in one figure, as shown in Fig. 7. When θ and ε are held constant, the slope of selection curves became dull as $\frac{T}{4}$ increased.

As the result of comparing the values of theoretical relative magnitude with that of experimental relative magnitude, in the case of $\theta = 60^\circ$ the theoretical selection curves are in fairly good approximation to the experimental selection curves. But the theoretical curves near either end seem to deviate somewhat from the experimental curves. As this deviation is mainly referable to the underlying assumption, the better fitness of the theory can be expected by the further consideration of the assumption.

緒 言

一般に、網漁具は対象魚類をその大小にしたがって選択する。この選択作用は漁具の構成や漁法の相違によって必然的に生じるものである。従来、網漁具はこの選択作用を改変することによって、できるかぎり多くの漁獲量が得られるよう改良されて発達してきた。しかし、現在の漁具改良は漁獲量の増大をはかることを主眼とするのではなく、適正な網目規制の下で商品価値の低い幼稚魚を保護育成することに重点が置かれている。すなわち、網漁具の目合は選択作用を利用して現時点での良好な漁獲量を維持できる大きさとし、同時に、将来の良好な水揚げ量を確保できるものにならなければならない。したがって、網目選択性の研究は有効な資源利用と網目規制の基礎資料をうるため、もっとも重要であるといえよう。

選択性の調査はズボン式網(中支切網)・カバーネット方式・相互交換方式等の実験方法によって、かなり以前から実施されてきた。たとえば、曳網類では RUSSEL³⁴⁾, DAVIS¹⁴⁾, LUCAS²⁶⁾, BUCHANAN-WOLLASTON¹¹⁾, MARGETTS^{27, 28)}, GRAHAM¹⁷⁾, ANCELLIN¹⁾, GULLAND^{18, 19)}, 青山^{2, 3, 4, 5, 6)} および藤石¹⁶⁾らの研究がある。一方、刺網類では HODGSON²¹⁾, FARRAN¹⁵⁾, OLSEN³¹⁾, MCCOMBIE²⁹⁾, BERST⁷⁾, および石田²⁴⁾らの研究

がある。これらの研究報告の中で、FARRAN¹⁵⁾ はニシンの肥満度と選択性の関係を調査し、GRAHAM¹⁷⁾、GULLAND¹⁸⁾ および MARGETTS²⁷⁾ らは最大胴周と網目内周の関係を明らかにした。このほか、BOEREMA¹⁰⁾ は網地材料の材質が選択性におよぼす影響を調査した。このように、網目選択性に関する諸問題は実験資料に基づいて現象論的にほぼ解明されてきたとも考えられよう。しかし、実験ではすべての魚類を対象にして、各目合ごとに異なる選択曲線を求めることがきわめて困難であると思われる。また、選択性の海上調査は多人数の労力・長期間の調査日数・多額の調査費用等の実験に伴う諸制約をうけ易いばかりでなく、なるべく当業船と同じ操業条件を設定しなければならない。これらの制約を補う観点から、佐藤³⁵⁾ は魚体断面積と網目面積から理論的に選択曲線を求める方法を報告した。しかし、この選択曲線は実測選択曲線との適合が悪いように思われる。そこで、筆者は新たに網目の大きさや形状および魚体断面形状と大きさの相互関係に基づいて、理論的に選択曲線を求める方法を検討した。網漁具の選択作用は曳網類・旋網類では片側だけに働き、刺網類では両側に認められる。すなわち、前者ではある体長より大きい魚がすべて漁獲され、これより小さい魚はすべて網目から逃げる。つまり選択の対象となる魚は前者から後者までの体長範囲にかぎられる。これに対し、後者では漁獲機構が楔効果による網刺しであることから、最大胴周付近および頭部の両部位に顕著な選択効果が認められる。本報告は片側選択の代表的漁具である曳網類・旋網類の選択曲線を理論的に求め、これを実測選択曲線と比較検討した。その結果、若干の知見を得たので報告する。本研究を進めるに当り、九州東海大学佐藤猛郎教授、東京大学教授黒木敏郎博士にはこん切なご指導をたまわった。また、本校の柳瀬安生教授には理論解析について、多くのご教示をいただいた。なお、本稿は黒木敏郎先生のご校閲をいただいた。本文にさきだち、これらの方々に厚くお礼申し上げる。

理論選択曲線の推定方法

1. 網目と魚体の大きさおよび魚の対網行動

1957年、リスボンで開かれた ICNAF²³⁾ の選択性に関する会議では、選択性に直接影響する諸要因について、網目では目合の大小と形状および網目の位置、魚体では体長と魚体断面形状および魚の対網行動であると指摘している。これらの諸要因の中で、とくに網目形状・魚体断面形状・魚の対網行動等が選択性におよぼす影響を実測選択曲線から数値的に把握することは困難である。しかし、理論的に選択曲線を求めるためには各要因を理論式で表わすことが必要になる。そのためにはまず選択機構を明らかにしなければならない。そこで、本研究では選択機構が曳網中の網目の形状と魚体断面形状によって規定されると考えた。すなわち、選択機構の理論的接近法の第1段階として、網目・魚体断面形状・魚の対網行動をつぎのように仮定し、これに基づいて解析を進める。

1・1 網目の形状と大きさ

曳網中の網目の形状は曳網速力や網目の位置によって変化する。その形状変化の調査方法としては直接観察法以外に良い方法がない。CLARK¹²⁾ はトロール網の実験中に水中カメラと水中テレビジョンを用いて網目形状を測定した。また、操業中の旋網の網目形状は Aberdeen の Scottish Home Department Marine Laboratory³⁶⁾ が水中カメラで撮影している。前者によると、網目の小さい方の角度は曳網速力が1ノット以下のときでは25~30°、通常の曳網速力(2.5~3ノット)のときでは平均62°である。後者によれば、網目形状は曳網期間を通じて巾広い菱形を保っていたと報告されている。つまり、一般的に、網目はある菱形で表わすことができよう。そこで、本報告では、(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。(ii) 網目の変形は結節部のみで行なわれるものと仮定する。すなわち、魚は1つの網目を構成する4脚の網糸を曲げることなく通り抜けると考える。網目の大きさは菱形の1辺の長さ($\frac{T}{4}$)、および、大きい方の頂角(2θ)で表示する。

1・2 魚体断面形状と大きさ

現在までの報告によると、選択作用は目合の異なる2種類、または、それ以上の網によって漁獲された魚の体長組成を比較する方法か、あるいは、網目内周と魚体の胴周の關係を用いて解析されてきた。とくに曳網類の解析では胴周には主として最大胴周が用いられてきた。もし、魚体断面形状が楕円（長軸=2a, 数值離心率=ε）に近似できるなら、胴周（G）は楕円関数であって次式から求められる。

$$G = 4a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \phi} d\phi$$

$$= 2\pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \varepsilon^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^4}{3} - \dots - \left\{ \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \right\}^2 \cdot \frac{\varepsilon^{2n}}{(2n-1)} - \dots \right] \dots (1)$$

$$= 2\pi a \Phi \dots \dots \dots (1)'$$

(1)式はεが小さければ $G = 2\pi a (1 - \frac{1}{4}\varepsilon^2)$ で近似されるが、εが大きくなると括弧内の省略項を考慮しなければならない。たとえば、ε = 0.9 であれば括弧内の第4項の値でさえ約0.010とかなり大きいので、第3項以下の省略による誤差は無視できない。また、魚の胴周長は魚体断面形状が異なる魚種間においても同一値になることがあるため、断面形状差による選択性の影響を明らかにできないおそれが出てくる。したがって、胴周は魚体断面形状の指標として非現実的といえよう。一般に、魚体断面形状は多種多様であって、同一魚体でも断面部位によって異なるばかりでなく、魚種・雌雄・季節等により千差万別である。魚体断面形状が選択作用に大きく影響をおよぼす要因であるにもかかわらず、今日まで曳網対象魚種の断面形状を調べた報告は非常に少ない。これは魚体断面形状の測定作業が体長測定に比較してきわめて面倒であるためであろう。この魚体断面形状についてはわずかに渡辺³⁰⁾が選択作用と無関係にカツオの魚体を吻端から5cmごとに測定した断面図を報告しているにすぎない。このため、魚体の網目通過に関する研究では魚体断面形状を楕円に近似させた解析方法が用いられ、2、3の報告で試みられてきた。たとえば、神田²⁵⁾は網地の適正縮結を求めるため、コイの断面形状を写真測定し楕円に近似させた。また、梨本³⁰⁾は刺網の網刺し現象を理論的に解明するため、サケ・マス断面形状を楕円に近似させている。前記渡辺の図によると、カツオの断面形状は眼の付近と尾柄部を除き、各部位での形状に大差がなくほぼ相似の楕円とみなすことができる。この場合、楕円の長軸(2a)、短軸(2b)および数值離心率(ε)はそれぞれ体高、体巾および魚体の扁平度に対応する。εは次式で与えられるので、半体高(a)、半体巾(b)から容易に求めることができる。

$$\varepsilon = \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \dots \dots \dots (0 \leq \varepsilon < 1) \dots \dots \dots (2)$$

(2)式を用いると、カツオのεの値は最大胴周付近(第1背びれ起部)では0.70、頭部(えら蓋後縁)では0.75である。また、BUEN³³⁾の報告から、イワシの体高(2a)および体巾(2b)に対する体長(B.L.)の關係式はそれぞれつぎの各式で与えられる(単位、mm)。

$$2a = -3.065 + 0.215 \times B.L. \quad (B.L. = 115 \sim 210) \dots \dots \dots (3)$$

$$2b = -3.686 + 0.143 \times B.L. \quad (B.L. = 115 \sim 210) \dots \dots \dots (4)$$

両關係式の回帰係数が若干異なるので、体長が120mmおよび210mmのときのεの値は(2)、(3)および(4)式からそれぞれ0.80および0.78をうる。両体長におけるεの差はわずかに2.5%にすぎないので、両体長での断面形状を相似の楕円とみなしても差支えない。以上のことを考慮して、ここでは魚体断面形状についてつぎのように仮定する。(i) 魚体断面形状は近似的に楕円(2a, ε)とみなし、εを魚体の扁平度の指標とする。(ii) 特定部位(最大胴周部)の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) 体高は体長に比例する。

1・3 魚の対網行動

コッドエンドに入網した魚群の行動は諸外国で行なわれた直接観察結果³⁶⁾やカバーネット法による実験¹³⁾から、かなり明らかにされてきた。一方、水槽実験に基づいて、神田²⁵⁾はコイが遊泳運動をするときに、魚体軸を網目の面に対し直角に保持することを確かめている。また、肥後²⁰⁾は魚が反転運動を起こす際にπ³効果があることを報告した。しかし、これらの実験では魚が網目を通り抜ける瞬間に、どのような行動を起こすか

が明らかにされていない。すなわち、魚が菱形網目の短対角線にはいるよう魚体軸を保持して進んできたとき、網目の直前で体高軸を網目の長対角線側に向けるような行動を起こすかどうか分からない。このような魚の反射行動や即時判断等は未調査のようであり、生態学的にもあまり追求されていないように思われる。し

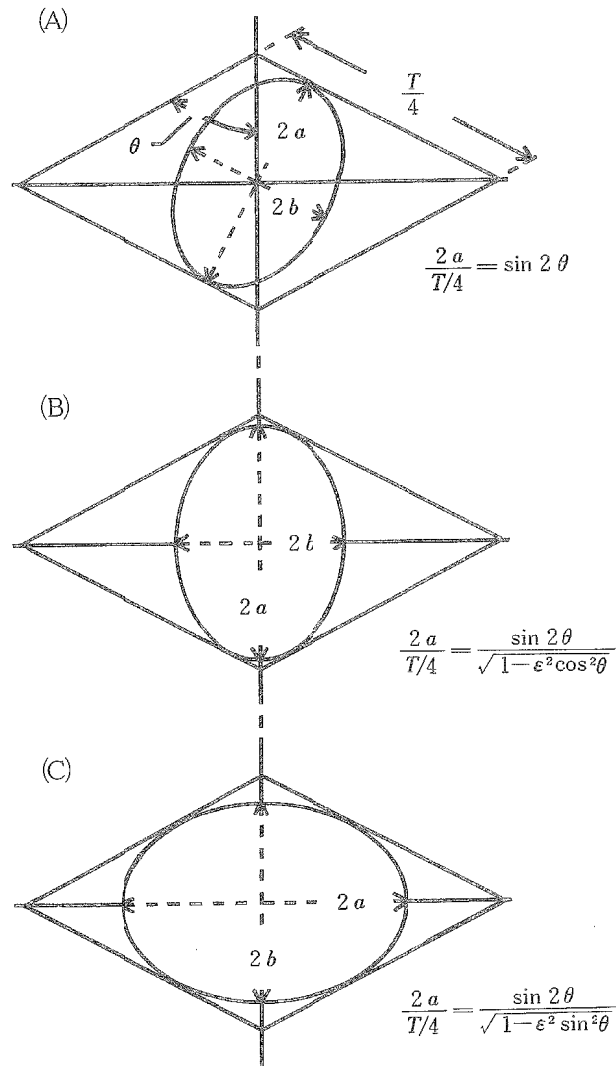


Fig. 1. Positional relationship between diamond-shaped rigid mesh and ellipse comes in touch with mesh-legs, on the assumption that the cross-sectional shape of fish body at the greatest girth is approximated by an elliptical form.

Notes: $\frac{T}{4}$ Mesh size; θ Mesh angle;
 Body height; $2a$ Body breadth; $2b$
 Eccentricity of ellipse; ε
 The relative magnitude of a fish to a cod-end mesh; $\frac{2a}{T/4}$

Lower selection limit; (A)

Upper selection limits, in the cases of the major axis of ellipse lie in the same side with the shorter and longer diagonal lines of lozenze; (B) (C)

かし, Aberdeen の水中写真³⁶⁾によると, 魚は逃げ易いように自から遊泳体位を変えて, 必ず網目の長対角線側にはいるとは考えられず, 短対角線側にはいった魚も見うけられる。このような魚の行動が選択性に影響をおよぼし, 現実に入網魚群は網目から逃げ出す行動を起こすのである。そこで, 本報告では上述の直接観察結果や水槽実験結果から魚の対網行動を想定し, つぎのように仮定する。(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関係

いま, ある断面形状 ($2a, \epsilon$) をもつ魚がある形状の網目 ($\frac{T}{4}, 2\theta$) を通り抜けようとするとき, 網目形状と魚体断面形状の関係は上述の諸仮定から, つぎの3つの特別な場合が考えられる(第1図)。

- (1) $2a$ が菱形の相対する2辺間の距離 ($\frac{T}{4} \cdot \sin 2\theta$) に等しいか, それより小さい場合。

$$2a \leq \frac{T}{4} \cdot \sin 2\theta \quad \therefore \frac{2a}{T/4} \leq \sin 2\theta \quad (45^\circ \leq \theta < 90^\circ)$$

この場合はすべての魚が網目を自由に通り抜けることができる。

- (2) $2a$ と菱形の長対角線の向きが合致し, $2a$ の大きさは楕円が菱形に内接したときより大きい場合。

$$2a > \frac{T}{4} \cdot \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2 \theta}} \quad \therefore \frac{2a}{T/4} > \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2 \theta}}$$

この場合はすべての魚が網目を通り抜けることができない。つまり, すべての魚が漁獲される。

- (3) $2a$ が(1)と(2)の中間値の場合。この場合は $2a$ の大きさによって, さらにつぎの2つに分けられる。

- (3)-(1) $2a$ が菱形網目の短対角線側にはいりうる大きさの場合。

$$\frac{T}{4} \cdot \sin 2\theta < 2a \leq \frac{T}{4} \cdot \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\epsilon^2 \cos^2 \theta}} \quad \therefore \sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\epsilon^2 \cos^2 \theta}}$$

この範囲内の楕円は当然菱形網目の長対角線側にもはいることができる。

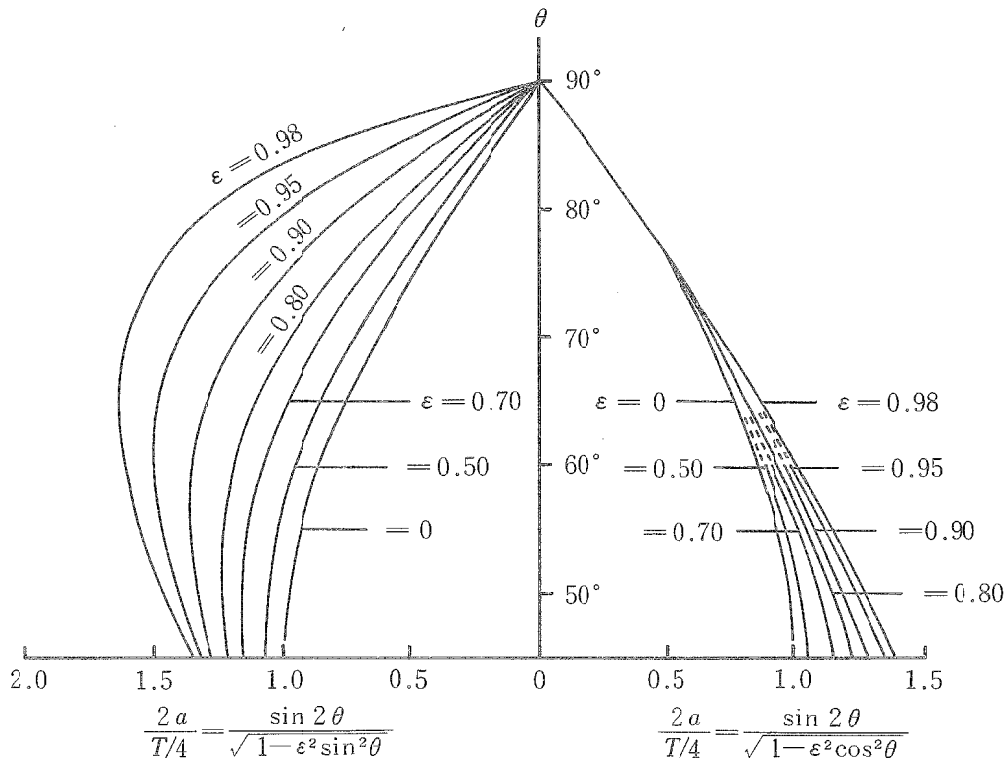


Fig. 2. Values of relative magnitude $\frac{2a}{T/4}$ in the lower and upper selection limits by the mesh angle θ and eccentricity ϵ .

(3)-(2) $2a$ が菱形網目の短対角線側にははいることができないが、長対角線側にははいることができる大きさの場合。

$$\frac{T}{4} \cdot \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < 2a \leq \frac{T}{4} \cdot \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$$

$$\therefore \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$$

魚の体高が (3) の範囲にあれば、魚は $2a$ の大きさと、菱形網目の対角線に対する体高軸の傾き角によって網目を通り抜けるものと、漁獲されるものとに分かれる。つまり、選択の対象となる魚の体高は (3) の範囲にあるといえよう。また、第 1 図から、 $\frac{2a}{T/4}$ の変域は 0 から 2 の範囲内にあることがわかる。菱形網目の両対角線における $\frac{2a}{T/4}$ の上限値を求める手法を付録-1 に示した。第 2 図は θ および ε の組み合わせによる $\frac{2a}{T/4}$ の上限値の変化を示す。

3. 網目形状と魚体断面形状の相対的大きさおよび魚の「とられ易さ」

一般に、網目選択性に関する研究では主として選択率・選択両限体長・選択域・選択の「鋭さ」・50% 選択点等を論議の対象としてきた。本研究ではこれらの主対象を解析するため、従来用いられてきた魚の体長と目合の間接的関係から、より直接的な網目形状と魚体断面形状の相対的な大きさ ($\frac{2a}{T/4}$) を基礎とする。選択作用は魚の体高 ($2a$) に対する目合 ($\frac{T}{4}$) の相互関係によって左右されと考えられ、これに魚の対網行動を考慮に入れなければならない。前節で求めた $\frac{2a}{T/4}$ は 2 つの未知数 (ε, θ) の関数である。したがって、魚がある網目を通り抜けるかどうかは曳網中の網目の角度 (θ) と魚体の扁平度 (ε) に支配されると考えてよい。しかし、魚が網目を通り抜けるかどうかは θ および ε ばかりでなく魚群行動の確率的性質にも左右される。すなわち、当然網目を通り抜ける魚が網目を通り抜けようとしないうために漁獲される場合がある。この現象はすでに多くの実験、とくにカバーネット方式の実験で確かめられている。これに関して、BUCHANAN-WOLLASTON¹¹⁾ は chance selection という定義を試みている。換言すれば、魚の「とられ易さ」は網目通過の難易性と魚群行動の確率的性質によって決まると考えられよう。そこで、本報告ではつぎに述べる理由から網目通過の難易性として角度比を、確率的性質として面積比を適用し、魚の「とられ易さ」の指標とした。

3・1 角度比

第 3 図(A. B) は菱形内の楕円が菱形の相対する 2 辺と 2 点 (S_1, S_2)、または (S'_1, S'_2) で接するまで回転した状態を示す。いま、 $2a$ を任意の楕円長軸の長さとするとき、 $\frac{2a}{T/4}$ が $\sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$ の範囲内であれば、楕円は $\frac{2a}{T/4}$ に比例した角度だけ菱形内を回転できる。そこで、菱形の長対角線に対する楕円長軸の傾斜角を φ 、 S_1 または S'_1 から楕円中心に引いた直線が楕円長軸となす角を δ とおくと、 φ および δ は付録-2 よりそれぞれつぎのように得られる。

$$\varphi = \theta \mp \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{1 - \frac{(\sin 2\theta)^2}{\left(\frac{2a}{T/4}\right)^2}} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} (-) \dots\dots 0 < \varphi \leq \theta \\ (+) \dots\dots \theta < \varphi \leq \frac{\pi}{2} \end{array} \right.$$

ここで、 $\varphi_i \equiv \theta - \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{1 - \frac{(\sin 2\theta)^2}{\left(\frac{2a}{T/4}\right)^2}} \right\} \dots\dots\dots (5)$

$$\varphi_j \equiv \theta + \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{1 - \frac{(\sin 2\theta)^2}{\left(\frac{2a}{T/4}\right)^2}} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

とする。

$$\delta = \tan^{-1} \{ (1-\varepsilon^2) \cdot \tan(\theta - \varphi) \} \dots\dots (0 \leq \varphi \leq \theta) \dots\dots\dots (7)$$

つぎに、菱形内の楕円の回転可能な角 (φ_1) に対する回転不可能な角 (φ_2) の比 (φ_2/φ_1) を角度比とにおいて、 φ_1 および φ_2 をつぎのように定義する。すなわち、 φ_1 は $\frac{2a}{T/4}$ が $\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2a}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$ の範囲にあれば、菱形の長対角線側だけを考慮すればよいので、第3図Aの $\angle S_1OB$ とする。 φ_2 は $\frac{2a}{T/4}$ が $\sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}}$ の範囲内であれば回転不可能角が菱形の両対角線側に生じるので、第3図B

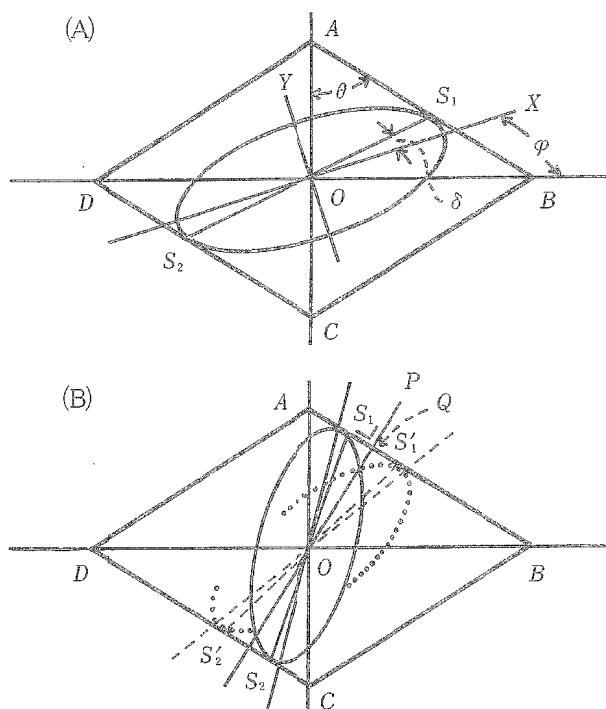


Fig. 3. Turned ellipse in contact with 2 points (S_1 and S_2 or S'_1 and S'_2) in the lozenge-like mesh. φ and δ indicate the angles between the major axis of an ellipse and longer diagonal line, the major axis and line OS_1 or OS'_1 .

より $\angle S_1OP + \angle S'_1OP$ とする。したがって、 φ_1 および φ_2 はいずれか一方を求めると他の一方は必然的に決まる。上述の定義から、 φ_1 および φ_2 は $\frac{2a}{T/4}$ の大きさ別につぎの各式から求めることができる。

$$\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}} \text{ の場合}$$

この範囲内では、楕円の傾斜角 (φ) は $0 \leq \varphi \leq 2\theta - \frac{\pi}{2}$ の変域内にある。また、この楕円は菱形の短対角線側にははいることができない。そこで、 φ_1 と φ_2 は第3図A、(5)および(7)式よりつぎのように求めることができる。すなわち、

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \angle S_1OB = \angle S_1OX + \angle BOX \\ &= \varphi_i + \delta \\ \varphi_2 &= \angle AOS_1 = \frac{\pi}{2} - \varphi_1 \\ &= \frac{\pi}{2} - (\varphi_i + \delta) \end{aligned}$$

$$\sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} \text{ の場合}$$

この範囲内の楕円については菱形の両対角線にはいった場合を区別して考えなければならない(第3図B)。 φ の変域は短対角線側にはいったときでは $\theta \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$, 長対角線側にはいったときでは $0 \leq \varphi \leq \theta$ である。また、第3図Bから、菱形の両対角線における楕円長軸の長さが等しいので、 $\overline{S_1 Q} = \overline{S'_1 Q}$ ($\angle S_1 OP = \angle S'_1 OP$) が成立する。したがって、 φ_1 および φ_2 は第3図B, (5) および (7) 式を用いてつぎのように表わすことができる。

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \angle S_1 OP + \angle S'_1 OP = 2\angle S'_1 OP \\ &= 2\{\theta - (\varphi_i + \delta)\} \\ \varphi_1 &= \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \\ &= \left(\frac{\pi}{2} - 2\theta\right) + 2(\varphi_i + \delta) \end{aligned}$$

ここで、角度比を求めるために必要な諸式を整理すると、つぎの関係が明らかとなる。すなわち、

$$\begin{aligned} \varphi_1 \text{ および } \varphi_2 &\text{ は } \theta \cdot \varphi \cdot \delta \text{ の関数である。} \\ \varphi \text{ および } \delta &\text{ は } \theta \cdot \varepsilon \cdot \frac{2a}{T/4} \text{ の関数である。} \\ \frac{2a}{T/4} &\text{ は } \varepsilon \cdot \theta \text{ の関数である。} \end{aligned}$$

したがって、角度比は $\frac{2a}{T/4}$ の関数におきかえられ、 ε および θ の組合わせによって決まる。

ある網目に出合った魚はその体高が網目1辺の長さに比べ充分小さければ逃げ易く、反対に大きければ漁獲され易いであろう。すなわち、魚が網目を通り抜け易いかどうかは $\frac{2a}{T/4}$ の値の大小によって決まると考えられるので、 $\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$ の範囲内の魚が $\sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}}$ の範囲の魚に比べ漁獲され易いといえる。したがって、ここでは魚の網目通過の難易性を表わす指標として角度比を用いることにしたのである。

3・2 面積比

魚群行動の確率的性質は主として入網魚群の遊泳行動に起因するものである。また、曳網条件(曳網速度・網成り)や入網魚群量の多小によって魚群の遊泳行動が左右されると考えられる。このような偶然性をもつ魚群行動の確率的性質はそのすべてを厳密に理論化できるものではない。しかし、本研究はできるかぎり魚群行動の影響を加味した考察を行ない、実測選択曲線へ近似できる理論式をみちびくことを目的としている。もし、この確率的性質を考慮しなければ、実測値に近似できない結果が予想される。そこで、ここでは魚群行動の確率的性質のある網目に対する魚の通過確率によって代表させることを試みた。この通過確率は、菱形の中で楕円が動くとき、楕円中心が菱形中心付近で動き得る面積の、菱形の面積に対する比で表示することができる。いま、菱形の長対角線に対する楕円長軸の傾斜角(φ)を一定とした状態で楕円を動かすとき、楕円中心は付録第3図に示すとおり菱形中心付近において平行四辺形を描く。その面積を $S(\varphi)$ とおく。ここで、楕円の傾斜角が φ から $\varphi + d\varphi$ まで変化すれば、楕円中心が動きうる面積は $S(\varphi)d\varphi$ である。一方、菱形の面積が $\left(\frac{T}{4}\right)^2 \cdot \sin 2\theta$ で与えられることから、求める面積比(P)は規格化定数を用いれば、つぎの一般式で表わされ、 $\frac{2a}{T/4}$ の関数で与えられる。

$$P = \frac{\int_0^{\pi} S(\varphi) d\varphi}{\pi \cdot \left(\frac{T}{4}\right)^2 \cdot \sin 2\theta} = \frac{2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} S(\varphi) d\varphi}{\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{T}{4}\right)^2 \cdot \sin 2\theta}$$

P を求める手法を付録-3に示した。

4. 理論選択曲線

選択曲線は通常、横座標に体長を、縦座標に選択率(残留率)を用い、選択両限間における選択率の変化

を示したものである。本研究では残留率が魚の「とられ易さ」に比例すると考え、魚の「とられ易さ」の指標として角度比と面積比を適用した。したがって、理論選択曲線の座標軸として横軸に $\frac{2a}{T/4}$ 、縦軸に残留率を用いる。残留率は通過確率（ P ）より残留確率（ $1-P$ ）を求め、残留確率と角度比をそれぞれ百分率に換算した両者の平均値である。これは実際の選択作用が網目通過の難易性（角度比）と確率的性質（面積比）の2要因によって複雑に変化すると判断されたからである。したがって、2要因を分離して考察するのは適切ではないと考えられる。つぎに、選択両限を理論的に追求すると、もし網糸が曳網中においてもなお可撓的であるなら、網目形状が魚体断面形状に合致したとき(1)'式より、 $2a = \frac{G}{\pi\Phi} = \frac{T}{\pi\Phi}$ が選択上限に、 $2a=0$ が選択下限に対応する。しかし、網目形状と魚体断面形状が合致する大型魚の大部分が漁獲されると思われるので、網目通過時に障害を感じることなく自由に逃げ去る大型魚はごく少数にすぎないであろう。つまり、網糸が可撓的であると仮定しても、選択上限が $2a = \frac{T}{\pi\Phi}$ に対応すると考えることは一般的であるといえない。また、網目はある菱形を保持しながら常に水流を通していているので、網目面積が零（ $2\theta = 180^\circ$ ）にはならない。したがって、 $2a=0$ は選択下限として非現実的である。実際には、曳網中の網目が十分な可撓性を備えていないため、 $2a < \frac{T}{\pi\Phi}$ の魚は漁獲される。同時に、 $2a > 0$ の魚が網目から逃がっている。すなわち、選択の対象となる魚の体高が $0 < 2a < \frac{T}{\pi\Phi}$ の範囲内にあるので、この範囲内のもっとも適切な体高を選択両限に選ばなければならない。本理論では網目に関する仮定から選択両限の第1近似として $\frac{2a}{T/4} = \sin 2\theta$

選択下限とし、 $\frac{2a}{T/4} = \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$ を選択上限とみなした。この選択両限間における残留率はつぎの各式から求められる。まず第1に、 $\sin 2\theta < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}}$ の範囲における角度比と残留確率はつぎのとおり

である。

$$\text{角度比 } \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1}\right) = \frac{2\{\theta - (\varphi_i + \delta)\}}{(\frac{\pi}{2} - 2\theta) + 2(\varphi_i + \delta)}$$

$$\text{残留確率 } (1-P) = 1 - \frac{2\left[2\int_0^{\varphi_i} S(\varphi) d\varphi + 2\int_{\varphi_i}^{\frac{\pi}{2}} S(\varphi) d\varphi\right]}{\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{T}{4}\right)^2 \cdot \sin 2\theta}$$

第2に、 $\frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \cos^2 \theta}} < \frac{2a}{T/4} \leq \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$ の範囲では、菱形網目の短対角線側に魚がはいることができないので、第1の場合に比べ魚の「とられ易さ」は大きい。この間の残留率はつぎの各式より求めることができる。

$$\text{角度比 } \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1}\right) = \frac{\frac{\pi}{2} - (\varphi_i + \delta)}{\varphi_i + \delta}$$

$$\text{残留確率 } (1-P) = 1 - \frac{2 \cdot 2 \int_0^{\varphi_i} S(\varphi) d\varphi}{\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{T}{4}\right)^2 \cdot \sin 2\theta}$$

ここに、 φ_i 、 φ_j および δ は(5)、(6)および(7)式で与えられる。第4図は上述の理論式に基づいて、 θ および ε に対応する理論選択曲線群を示したものである。この図は選択性におよぼす θ および ε の影響をよく示している。すなわち、(i) θ が等しければ、曲線傾斜は ε が小さくなるにつれて鋭くなる。(ii) 選択域は θ および ε が大きくなるにつれて広がる。この傾向は ε が大きい値（ $\varepsilon = 0.90$ 以上）のときに著しい。(iii) 50% 選択点より上方の曲線傾斜はそれ以下の曲線傾斜に比べるとゆるやかである。(iv) θ を一定とすれば、0% 選択点は ε が変化しても変わらないが、100% 選択点は ε が大きくなるにつれて次第に左方（ $\frac{2a}{T/4}$ の値の大きい方）へ移動する。

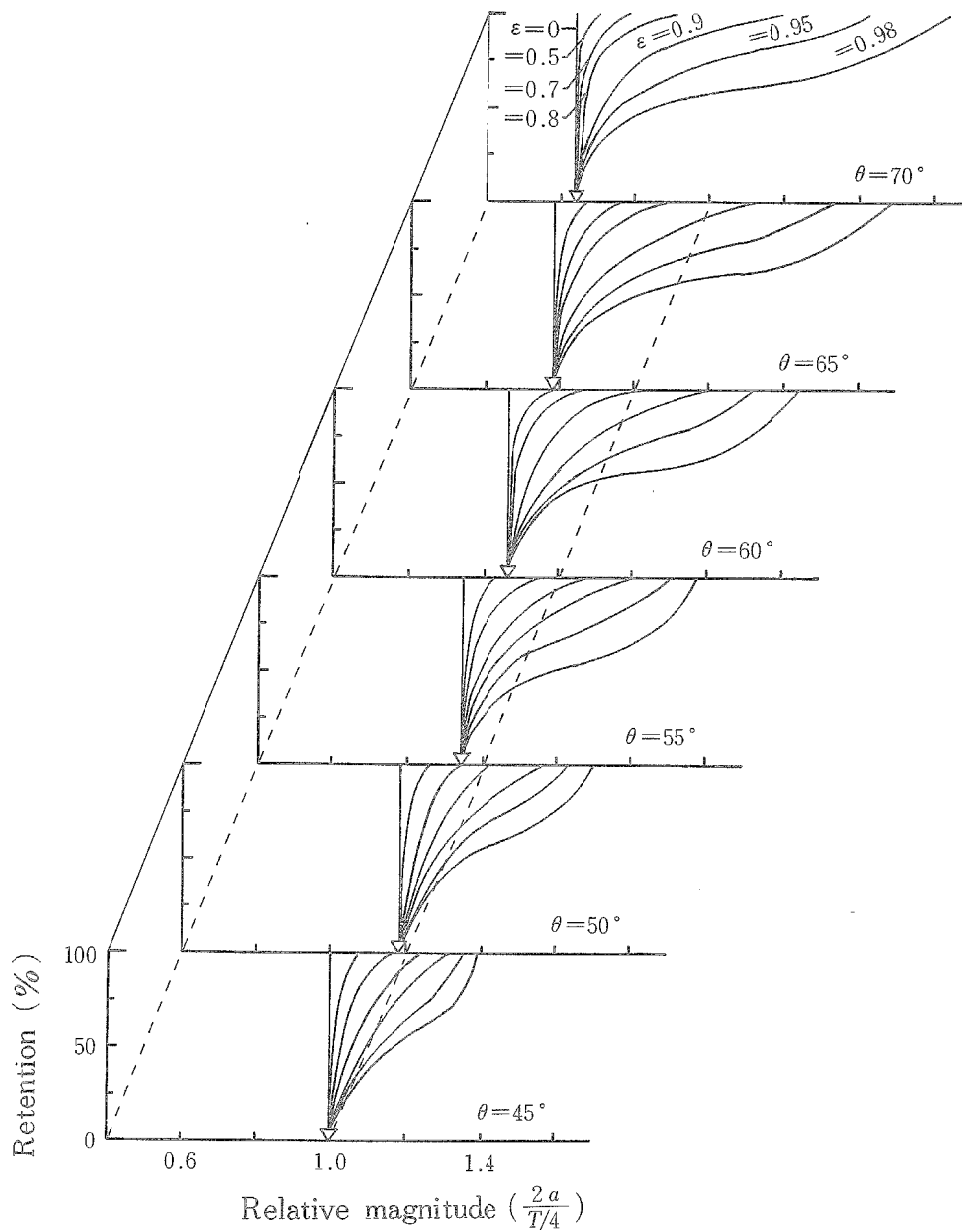


Fig. 4. Derived theoretical selection curves from the way of thinking whether fishes can pass through the mesh or not is prescribed by the relative magnitude ($\frac{2a}{T/4}$).

5. 選択の「鋭さ」および50%選択点

もし、ある形状と大きさを持つ網目に対し、魚はある体長を境にして、それ以下ではすべて逃げ、それ以上ではすべて漁獲されるなら、このときの選択は完全に「鋭い」といわれる。これを絶対選択（完全選択）と称する。たとえば、正方形網目（ $\theta = 45^\circ$ ）に対する円形断面魚（ $\epsilon = 0$ ）を考えると、魚は理想的状況下において、 $2a > \frac{T}{4}$ では漁獲され、 $2a < \frac{T}{4}$ では網目を通り抜ける。また、菱形網目に対する円形断面魚の選択を考えると、魚は断面長軸が $2a > \frac{T}{4} \cdot \sin 2\theta$ の場合では漁獲され、 $2a < \frac{T}{4} \cdot \sin 2\theta$ の場合では網目を通り抜けることができる。したがって、網目形状が正方形である場合を除き、選択の「鋭さ」は網目の角度

(θ)よりも主として魚体の扁平度 (ϵ) に左右されると考えてよからう。もちろん、 θ の大小は選択の「鋭さ」に若干影響するが、その影響度は ϵ のそれに比較して非常に小さい。第4図は θ の大小が主として選択両限での $\frac{2a}{T/4}$ の値に影響することを示している。また、 $\epsilon = 0$ の選択曲線は θ と無関係に絶対選択であることを示している。選択の「鋭さ」は ϵ が大きくなるにつれて鈍化するが、 ϵ の同一値に対して一様に変化するとはかぎらない。つまり、曲線の鈍化傾向は残留率が高い部分で著しい。従来、選択の「鋭さ」の指標には選択域 ($L_0 - L_1$)、選択スパン ($L_{0.25} - L_{0.75}$) および選択尖鋭係数 ($L_{0.159} - L_{0.5} \div L_{0.5} - L_{0.841}$) などが用いられてきた⁶⁾。ただし、 $L_0, L_{0.159} \dots L_1$ は選択率がそれぞれ 0, 15.9...100%のときの体長である。これらの指標のうち、ここでは選択の「鋭さ」の指標として選択スパン ($S.S_p$) を $(\frac{2a}{T/4})_{R=75\%}$ と $(\frac{2a}{T/4})_{R=25\%}$ との差で表わし、第5図に示した。 $(\frac{2a}{T/4})_{R=75\%}$ および $(\frac{2a}{T/4})_{R=25\%}$ は残留率が75, および25%の

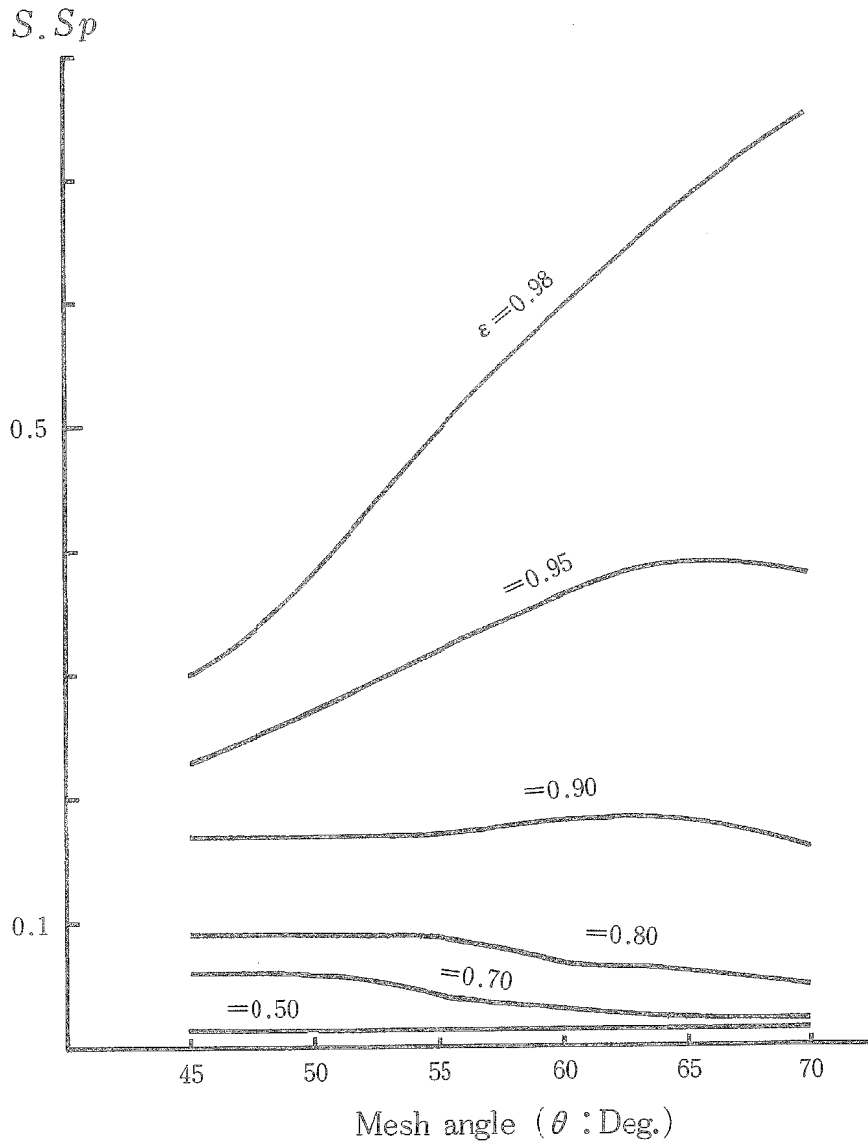


Fig. 5. Values of selection span ($S.S_p$) at the several combinations of θ and ϵ . $S.S_p$ were expressed by the difference of relative magnitude between 75% retention point $(\frac{2a}{T/4})_{R=75\%}$ and 25% retention point $(\frac{2a}{T/4})_{R=25\%}$

ときの $\frac{2a}{T/4}$ の値である。 $S.S_p$ と θ の関係は各 ε について、 いずれもほぼ直線とみなすことができる。しかし、その直線の変化傾向を見ると、 ε が大きいとき ($\varepsilon = 0.95$ 以上) では正相関であるのに対し、 ε が小さいとき ($\varepsilon = 0.90$ 以下) では恒等的、ないし、負相関であることが認められる。つぎに、選択作用を研究してきた多くの学者が選択の特性値として 50% 選択点を取扱ってきた。これは 50% 選択点が選択性の指標として利用されるばかりでなく、資源管理に必要な網漁具の網目規制の基礎資料として活用できるからである。

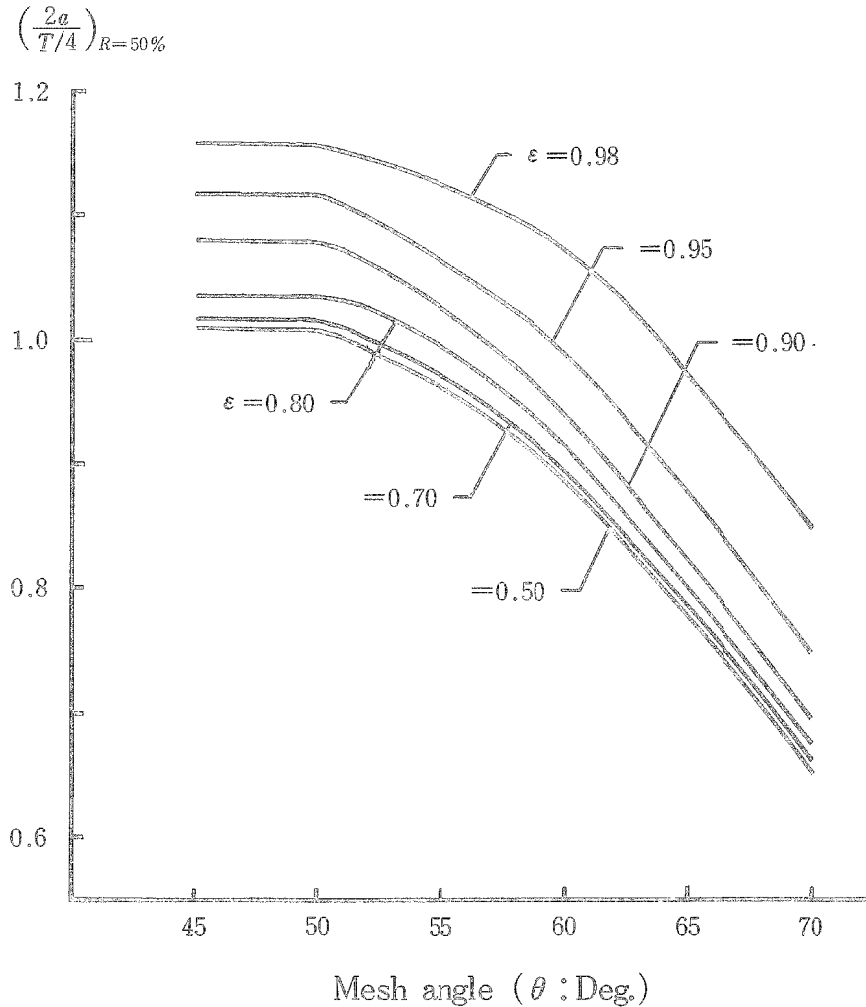


Fig. 6. Values of 50% retention point $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{R=50\%}$ at the combinations of θ and ε .

50% 選択点とは魚が漁獲される割合と逃げる割合が等しい魚体の大きさのことで、通常選択曲線から求めた魚の体長で表示する。ここでは 50% 選択点を $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{R=50\%}$ で表わし、第 6 図に θ および ε の組合わせによる変化の様子を示す。

実際資料との比較検討

理論選択曲線では解析の基礎として $\frac{2a}{T/4}$ を用いたが、実測選択曲線では魚体の大きさとして体長が用いられている。したがって、理論選択曲線と実測選択曲線の比較検討を行なうには体長と $\frac{2a}{T/4}$ の関係を明らかに

しななければならない。体長と $\frac{2a}{T/4}$ の関係は $\frac{T}{4}$ が既知(目合の半分の長さ)であることから、体長と体高の関係がわかればよいことになる。一般に、魚の体長と体高の関係は BUEN³³⁾のイワシの例のように、一次比例式で表わすことができる。しかも、選択の対象となる魚の体長は試験網の目合の大小によって変化するが、かぎられた体長階級内にある。したがって、この階級内の体長と体高の間には強い相関性があると考えられる。一方、 $\frac{2a}{T/4}$ は2つの未知数(θ , ϵ)を含むので、この未知数を実測資料から求めなければならない。 ϵ の値は魚体の体高・体巾の測定資料から容易に求められ、各体長階級内での個体差もさほど大きいとは考えられない。したがって、 ϵ には測定尾数の平均値をあてはめることができる。しかし、 θ には ϵ のようにある特定の定数をあてはめることができない。そこで、 θ には比較的小さな変域をもつ角度を推定値としてあてはめることにした。すなわち、CLARK^{12, 13)}の測定結果によると、 θ は網地材料や目合の大小によって多少変動するが、通常の曳網速力のときでは約 62° である。また、BEVERTON⁸⁾によれば、曳網中の網目の長短両対角線の比は2:1から4:3まで変化し、通常の曳網速力のときではほぼ3:2であるとされている。この両対角線の比から、網目の角度(θ)は約 53° から 64° まで変化し、通常の場合では約 57° であることが知られる。これらの調査結果を考慮すれば、 θ は 60° を中心として約 $\pm 5^\circ$ の変域をもつとみなしてもよからう。以上で、実験値と理論値を比較するために必要な未知数がすべて決まる。そこで、両者の比較には第4図から求めた理論値 $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ と実測選択曲線^{3,4,5,6)}から求めた実験値 $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ を用いることにする。現在までの報告によると、曳網類の選択曲線は一部の有用魚種について調べられているにすぎない。したがって、ここではこれら有用魚種の中から魚体断面形状が著しく異なる数種類の魚種を選び、実験値と理論値を比較検討する。各魚種の体長と体高の関係式および ϵ の平均値は東支那海魚体測定要報³⁷⁾を用いて計算し、第1表に示した。表中のメゴチ・ワニエソ・ミシマオコゼの3種は体高が体巾より小さいため、 ϵ が虚数になるので、体高と体巾を入れかえて ϵ を求めた。

$\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ と $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ の比較に当ってはつぎに述べる各種の誤差を考慮する必要がある。一般に、実測選択曲線は選択両限付近で歪むことが多い。この原因は選択両限付近では偶発的な魚の逃・漁獲が生じ易く、漁獲尾数が極端に少ないため選択率の計算に偶然誤差が入ることによる。また、カバーネット法による実験では、選択下限付近の曲線が他の方法で調べた選択曲線に比べて緩傾斜になる。これは小型魚がカバーネットのマスク効果により漁獲され易くなるためであると解釈されている。このような偶然性や実験方法による誤差のために、真の選択域は実測選択曲線から推定した見掛けの選択域より狭い範囲になると考えられる。また、 $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ は $2a$ を体長と体高の関係式から求めるので、体長と体高の相関性の強弱による誤差を含む。この誤差は選択の全域におよぶ。上に述べた各種の誤差の総和は50%選択点においてもっとも小さく、50%選択点から選択両限にかけて大きくなる。このことは $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ についても同様である。すなわち、理論選択曲線は種々の仮定を前提としているばかりでなく、選択両限に近似式をあてはめた。仮定に基づく誤差は全選択域におよび、選択両限付近では仮定上の誤差に近似誤差が加わるからである。そこで、ここでは誤差の大きい選択両限を除いた選択主要点(25, 50, 75%)の $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ を青山^{3,4,5,6)}の資料を用いて計算した。 $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ については θ の変域を考慮して、 $\theta = 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$ の3つの場合について計算した。第2表は $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ と $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ を適合比(q)を用いて比較した結果を示す。

なお、本理論では網目の伸縮・可撓性および魚体の弾力性・ひれの作用等を見捨てている。これらが選択性にかなり影響を与えると考えられたので、 $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ の目合 $\left(\frac{T}{4}\right)$ には内径より大きい外径(2脚2節長)を用い、その半分の長さとした。第2表は(q)が魚体断面形状(ϵ)と網目の角度(θ)によって変化することをよく示している。 q の値にはかなりのばらつきがみられ、 θ が $55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$ の場合にそれぞれ $-0.38 \sim -0.16$, $-0.26 \sim -0.23$, $-0.12 \sim -0.31$ と変動巾も大きい。しかし、 q の値は魚の体形によって特徴的に変動する傾向がうかがわれる。つまり、第2表に示した8魚種は遊泳形態と外部形態の特徴から、扁平形(ヤナギムシガレイ・クロウシノシタ)、普通型(タチ・キグチ・クログチ)および丸型(メゴチ・ワニエソ・ミシマオコゼ)の3種に大別できる。この分類によると、 q の符号は扁平形では(+), 丸型では(-), 普通型では(+と-)があいなかばしている。したがって、理論選択曲線は扁平型では実測選択曲線の左側に、

丸型では右側にずれることになる。 q の符号は $\theta = 55^\circ$ の場合では ϵ が小さくなるにつれて(−)になることが多く、 $\theta = 65^\circ$ の場合では ϵ が小さくしても(−)になることが少ない。以上のことを総合的に考慮すれば、

Table 1. The average eccentricity (ϵ) of the cross-sectional shape on the assumption that fish body has an elliptical form and regression equations between body length and body height by the species.

Species name*	ϵ	Samples examined		Regression equations** (cm)	Correlation coefficient
		No.	Ranges of body length (cm)		
<i>Tanakius Kitaharai</i> (Flat fish, Yanagi-mushigarei)	0.98	15	15.1-21.3	$B. H. = 0.307 T. L. + 0.049$	0.854
<i>Phinoplagusia japonica</i> (Tongue fish, Kuro-ushinoshita)	0.98	6	26.8-33.2	$B. H. = 0.448 T. L. - 5.342$	0.899
<i>Trichiurus trigrammus</i> (Hair tail, Tachi-uo)	0.95	20	16.5-46.2	$B. H. = 0.182 A. L. + 0.030$	0.960
<i>Pseudosciaena crocea</i> (Yellow croaker, Ki-guchi)	0.89	12	19.5-32.3	$B. H. = 0.208 T. L. + 0.497$	0.793
<i>Argyrosomus nibe</i> (Black croaker, Kuro-guchi)	0.85	33	16.6-39.0	$B. H. = 0.291 T. L. - 1.474$	0.990
<i>Suggrundus meerdervoorti</i> (Flat head, Me-gochi)	0.80	23	12.2-40.2	$B. B. = 0.152 T. L. + 0.290$	0.962
<i>Saurida tumbil</i> (Lizardfish, Wani-eso)	0.50	42	19.5-49.6	$B. B. = 0.149 T. L. - 0.290$	0.950
<i>Uranoscopus japonicus</i> (Stargazer, Mishima-okoze)	0.50	20	9.5-26.0	$B. B. = 0.217 T. L. - 0.130$	0.950

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 Yellow Sea³⁷⁾, vol III, published by Seikai Regional Fisheries Research Laboratory in Nov, 1950. In this table, T.L., A.L., B.H. and B.B. are abbreviations for Total length, Snout-anus length, Body height and Body breadth, respectively. In the further analysis, " ϵ " was used instead of the average value of the eccentricity.

Table 2. Comparison of the relative magnitude $(\frac{2a}{T/4})_{Th}$ derived from the theory in 3 cases of mesh angle (θ) with the experimental values $(\frac{2a}{T/4})_{Ex}$, in 3 retention points (R.P.).

Species	ϵ	$\frac{T}{4}$ (cm)	R. P. (%)	Relative magnitude			Fitting ratio			
				$(\frac{2a}{T/4})_{Ex}$ (A)	$(\frac{2a}{T/4})_{Th}$ (B)		$q = \frac{(A)-(B)}{(A)}$			
					$\theta = 55^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 65^\circ$	$\theta = 55^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 65^\circ$
<i>Tanakius kitaharai</i>	0.98	3.62	25	1.16	0.98	0.91	0.80	0.16	0.22	0.31
			50	1.29	1.12	1.08	0.97	0.13	0.16	0.25
			75	1.65	1.47	1.50	1.48	0.11	0.09	0.10
<i>Phinoplagusia japonica</i>	0.98	3.00	25	1.13	{	Do.	{	0.13	0.19	0.29
			50	1.28				0.13	0.16	0.24
			75	1.58				0.07	0.05	0.06
<i>Trichiurus trigrammus</i>	0.95	2.71	25	1.01	0.97	0.90	0.79	0.04	0.11	0.22
			50	1.17	1.06	0.99	0.87	0.09	0.15	0.26
			75	1.33	1.29	1.26	1.18	0.03	0.05	0.11
Do.	3.99	25	25	0.91	{	Do.	{	-0.07	0.01	0.13
			50	0.94				-0.12	-0.05	0.07
			75	1.12				-0.15	-0.13	-0.05
<i>Pseudosciaena crocea</i>	0.89	3.99	25	1.00	0.96	0.89	0.78	0.04	0.11	0.22
			50	1.12	1.02	0.93	0.82	0.09	0.17	0.27
			75	1.26	1.12	1.06	0.96	0.11	0.16	0.24
Do.	5.78	25	25	1.04	{	Do.	{	0.08	0.14	0.25
			50	1.20				0.15	0.23	0.31
			75	1.32				0.15	0.20	0.27
<i>Argyrosomus nibe</i>	0.85	3.00	25	0.81	0.96	0.89	0.78	-0.19	-0.10	0.04
			50	0.95	1.02	0.92	0.81	-0.07	-0.03	0.14
			75	1.08	1.08	1.02	0.91	0	0.06	0.16
<i>Suggrundus meerdervoorti</i>	0.80	2.71	25	0.81	0.96	0.88	0.78	-0.19	-0.09	0.04
			50	0.95	1.00	0.91	0.79	-0.05	0.04	0.17
			75	1.03	1.03	0.94	0.83	0	0.09	0.19
<i>Saurida tumbil</i>	0.50	2.71	25	0.69	0.95	0.87	0.77	-0.38	-0.26	-0.12
			50	0.80	0.96	0.87	0.78	-0.20	-0.09	0.03
			75	0.93	0.96	0.88	0.78	-0.03	0.05	0.16
Do.	3.99	25	25	0.69	{	Do.	{	-0.38	-0.26	0.12
			50	0.79				-0.21	-0.10	0.01
			75	0.90				-0.07	-0.02	0.13
<i>Uranoscopus japonicus</i>	0.50	3.00	25	0.69	{	Do.	{	-0.38	-0.26	-0.12
			50	0.81				-0.18	-0.09	0.04
			75	1.01				0.05	0.12	0.23

Notes: The experimental values of relative magnitude $(\frac{2a}{T/4})_{Ex}$ were calculated numerically from the selection curves referring to Aoyama's papers^{3,4,5,6)} and the regression equations as shown in Table 1, when a denominator substituted the length of half mesh size (2 legs and 2 knots) for $\frac{T}{4}$.

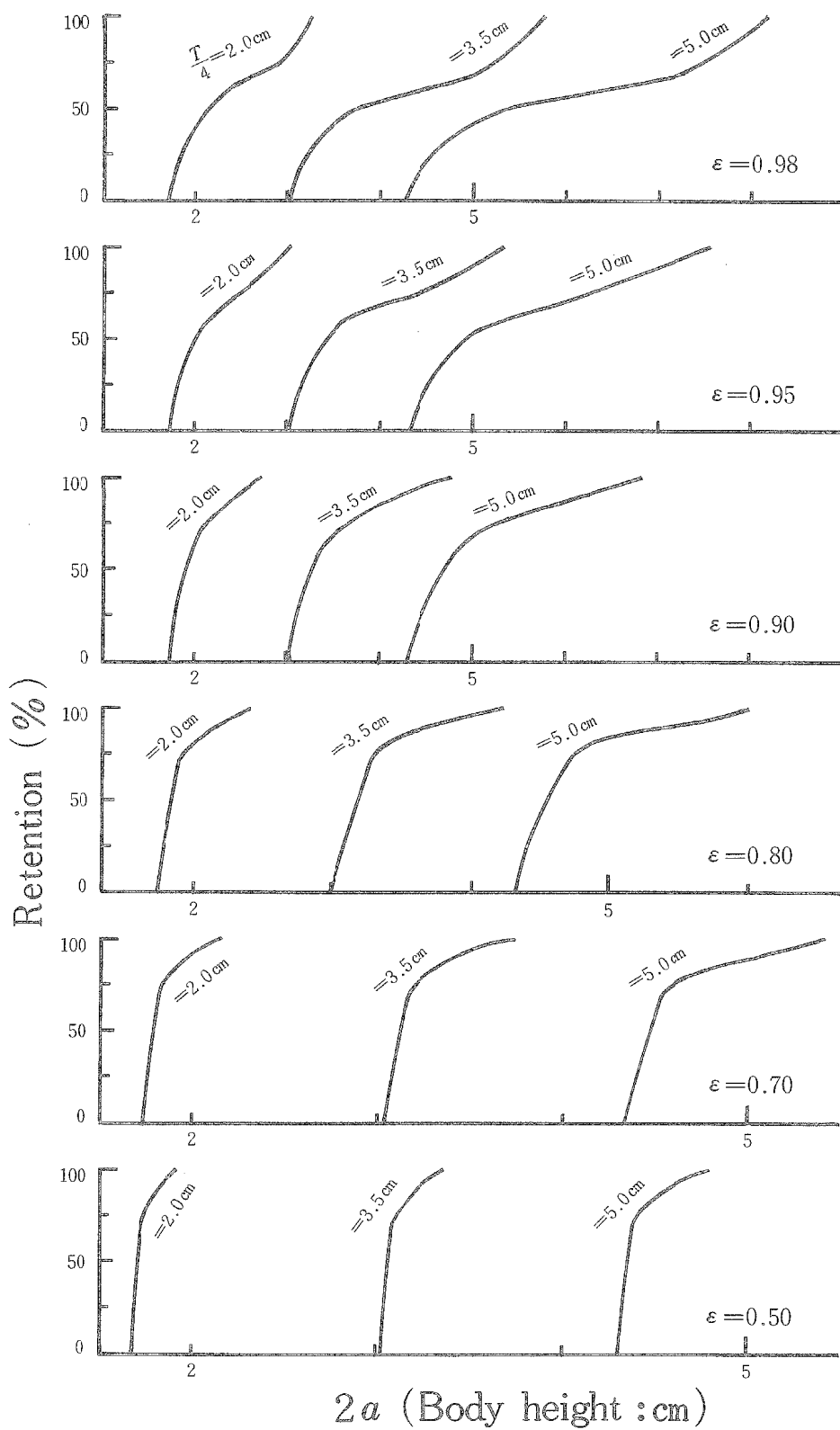


Fig. 7 The theoretical selection curves by the mesh size $\frac{T}{4}$ and eccentricity ϵ , in the case of $\theta = 60^\circ$.

実測選択曲線に近似できる理論選択曲線は θ 、 ϵ および魚の体形等を考慮して第4図の中からもっとも適合のよい曲線を選ばなければならないことになる。この方法はクログチやメゴチのように θ が変化しても適合度の良い魚種では簡単であるが、適合度の悪い魚種についてはあまり実用的とはいえない。そこで、ここでは実用性を考慮して、 q の絶対値の平均が最小値を示す $\theta = 60^\circ$ の理論選択曲線を実測選択曲線とみなすことにする。つぎに、 $\theta = 60^\circ$ の場合における $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ が $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Ex}$ の近似値とみなしてよいかどうかを数種類の魚種について検討してみる。 q の値はキグチ($\theta = 60^\circ$, $\frac{T}{4} = 3.99$, 50%選択点)では0.17であるから、適合度はあまりよくない。しかし、 $q = 0.17$ を体長に換算すると、その長さはわずかに1.26cmに相当するにすぎない。 $q = 0.25$ と仮定しても、体長の誤差は3cm以下である。エソの体長の誤差はキグチより大きく最大5cmになるが、エソ以外の魚種ではキグチと同程度である。この程度の誤差は選択性の調査において普通にみられるので、実験誤差とみなしても差支えない。したがって、 $\theta = 60^\circ$ の場合の $\left(\frac{2a}{T/4}\right)_{Th}$ は未調査魚種の実測主要点の近似値として用いることができよう。これらの近似値を用いることによって、未調査魚種の実測選択曲線を推定することが可能となる。

理論選択曲線を描くには各目合 $\left(\frac{T}{4}\right)$ ごとに $\frac{2a}{T/4}$ と残留率を計算しておかなければならない。残留率の計算はとくに面倒である。また、第4図は目合の大小が選択性におよぼす影響を調べるには不便である。もっとも便利な方法は目合別の選択曲線を同一図上に描いて比較することである。ここで、第4図の横座標を $\frac{2a}{T/4}$ から $2a$ におきかえると、目合別の選択曲線が同一図上に表示できるので、目合と選択性の関係を容易に調べることができる。すなわち、試験網の目合 $\left(\frac{T}{4}\right)$ に予測された異なる実数を代入して、任意の $2a$ に対応する残留率をあらかじめ計算しておけばよい。第7図は $\frac{T}{4}$ に2.0cm(40mm目合)、3.5cm(70mm目合)、5.0cm(100mm目合)を代入し、 $\theta = 60^\circ$ の場合における選択曲線を扁平度別に示したものである。この図は同一扁平度を持つ魚では目合が大きくなるにしたがって、選択曲線が次第に水平軸の方に傾くことを示し、同時に、選択域も広くなることを示している。

総括的考察

選択性に関する研究の意義は選択の諸特性値(選択域・50%選択点・選択の「鋭さ」)を漁業資源管理に活用していくことにある。網漁具による漁獲対象資源は漁船の隻数制限・漁期および漁場の制限・漁法の制限・漁獲物の体長制限等の規制措置を実施しなければ、永久利用を期待できない。選択性の研究では上述の規制措置のうち、体長制限が取扱われる。体長制限とは網漁具に適正な網目規制を行なうことにほかならない。適正目合は魚種によって大きく異なるので、多くの魚種を対象とする底曳網や旋網漁業では網目規制の実施が困難である。したがって、今日の規制目合は漁獲量の多い数種類の魚種に着目して、これらの魚種の実測特性値や漁獲努力を考慮して決められている。選択特性値は選択性をもっともよく表わす選択曲線から推定する。また、選択曲線は選択の全域にわたって完全に満足するような理論式で表わすことができないため、海上実験で得た資料から求められてきた。この種の網目試験では魚種によっては選択曲線を求めるに十分な漁獲尾数が得られないことが多く、未調査のまま残されている有用魚種も少なくない。現在までの調査によると、実験で確かめられた選択曲線は一部の主要魚種に限られ、試験網の目合も限られた範囲内であった。すなわち、実験では各種目合についてすべての魚種の実測選択性を調べることがきわめて困難であると思われる。しかし、有効な資源管理には主要魚種ばかりでなく、なるべく多くの魚種について選択性や魚群構造の特徴を調べておくことが必要である。ここに未調査魚種の実測選択曲線を実験に頼ることなく推定することの必要性が生じてくる。青山⁶⁾は魚の体長・最大胴周・網目内周等を用いることによって選択特性値を推定する方法について報告したが、この方法による選択曲線が示されていない。そこで、本報告では実測選択曲線との適合がよく、しかも、全魚種に適用できるような選択曲線を理論的に求める方法を検討した。理論選択曲線は種々の仮定を前提とし、網目の2変数 $\left(\frac{T}{4}, 2\theta\right)$ および魚体断面形状の2変数 $(2a$ と ϵ , または $2a$ と $2b)$

から求めた。4変数のうち、前2者 ($\frac{T}{4}$, 2θ) は既知数として取扱うことができ、 ϵ は $2a$ と $2b$ から求めることができる。したがって、理論選択曲線は魚体の最大胴周部の体高と体巾を体長階級別に測定した資料から求めることができる。体長は理論式には用いられていないが、本理論が実用的であるかどうかを検討するとき必要となる。すなわち、実験では魚体の体長だけを測定すればよいが、本理論では体高と体巾の測定が必要である。しかし、測定尾数は実験では全漁獲尾数であるのに対し、本理論では統計的に信頼できる程度の少尾数でよい。また、すでに報告されている魚体測定資料を利用することもできる。

本理論では、魚体断面形状が著しく異なる数種類の魚種について理論値と実験値がよく一致したことから、本理論はかなり普遍的な実用性をもつものといえよう。また、理論値は選択両限付近を除いた選択主要点において実験値に近似できることが明らかとなった(第2表)。したがって、未調査魚種の実験値は本理論を補助的に引用することにより目合別に推定することが可能となる。また、資源維持の観点から、現行の規制目合が拡大強化されると、当然選択効果が変わってくる。その変動状況は第7図から予測できよう。理論値と実験値の近似性は前提においた諸仮定が適切であったかどうかによって左右される。つぎに、これらの諸仮定およびこれに関連する事項について若干の検討を加えてみたい。

網目 従来、網糸が曳網中においてもなお可撓的であるとみなされてきたと思われる。また、網目形状は2, 3の実験結果^{13, 36)}から、菱形を保つことが明らかにされた。しかし、魚が網目を通り抜ける際の網目の形状変化については詳細な報告がない。網目の形状とその変化は理論的に考えるとつぎの2通りに分けられよう。まず第1は網糸を剛体とみなし、網目の変形が結節で行なわれると考える場合である。この場合、常に網目が菱形を呈しているため、網目の変形は菱形の頂角(θ)が変化することを意味している。第2は網目が曳網中においても可撓性を備えているとみなし、網目形状が魚体断面形状に応じて自由に變形できると考える場合である。この場合は魚が通る網目とその周辺の網目が變形するのであり、それ以外の網目は菱形を保つことになる。網目の可撓性に関して、LUCASら²⁶⁾はトロール網では通常の曳網速力のときに硬直した状態にあり可撓的ではなく、旋網ではトロール網より若干可撓的であったと述べている。また、HODGES³⁶⁾は旋網の実験中に網目を通り抜けた魚を直接観察し、ほとんどの魚が外傷をうけることなく元気に泳ぎ去ったと報告している。これらの報告は第1の考え方にほぼ一致する。一方、CLARK¹²⁾は第2の考え方に近い実験結果を報告した。彼は網目の可撓性を左右する要因は目合の大小であって、網糸の材質ではないと指摘し、大きな魚が網目を通り抜ける際に魚体を揺り動かす現象を観察した。以上の相反する実験結果を総合的に考慮すれば、網目の材料に柔軟な網糸を使用しているかぎり、網目は可撓性を備えていると考えるのが妥当であろう。しかし、曳網中の網目にはかなりの張力がかかっているため網目形状が自由に變形できるほど可撓的と考えることはできない。その可撓性をみると菱形から多角形(六角形, 八角形)に變形できる程度と思われる。網目の可撓性と網糸の伸びは選択曲線自体を体長の大きい方へずらすように働く。また、網糸が漁具の使用期間に比例して伸びる傾向が認められているので、目合は一定の張力がかかる計測器を用いて内径が測定されてきた。たとえば、MARGETTS²⁷⁾の報告によれば、二重マニラの目合(80mm)は片側で最大5mm変動し、さらに、実験終了後に内周を測定した結果、平均164mmに伸びていた。このように、網糸の伸びが大きければ、選択曲線は網糸の伸びに応じて修正しなければならない。いま、目合が $\frac{T}{4}$ から $\frac{T}{4} + \Delta T$ まで伸びたとすれば、 ΔT に相当する修正値は第7図に示した各 $\frac{T}{4}$ 間隔の内挿法により推定できる。もし、網糸の可撓性を考慮に入れた理論選択曲線が得られるとすれば、 ΔT に相当する修正値は同様の手法で推定できることになる。このように、本理論では網目の伸びに対する選択曲線の修正は可能である。これに対し、網目の可撓性に対する修正はできない。これは本理論が網目について第1の考え方を採用したことによる。したがって、網目の可撓性がとくに選択両限に影響を与えらると思われるので、第2表には選択両限を除いた選択主要点における理論値と実験値の比較結果を示すにとどめた。選択性と網目の可撓性の関係については、選択両限での理論値と実験値の比較を含めて解析を進めているので今後の検討にゆずる。

魚体断面形状 通常、漁獲の対象とされている多くの魚種は外部形態に特徴があり、魚体の扁平度にも大きな差が認められる。この魚体の扁平度については魚体断面形状を楕円に近似させることにより、 ϵ で表わ

することができる。しかし、断面形状の測定結果から ϵ を求めることは非常に面倒である。魚体断面形状の測定は測定部位を鋭利な刃物で切断し胴周を縁どっていかなければならないため、技術と多くの時間を必要とする。また、多くの魚種について、胴周の測定がなされてきたが、その測定はかなりの時間を要する。一般に、胴周の測定では可撓性テープや太い糸が用いられ、これを魚体に密着させ圧縮しないように注意しなければならない。このような多くの測定時間を省き、資料のじん速な処理を行なう観点から、断面形状を実際の形状に近い彩に近似させる方法が用いられてきた。その近似形状は円形より楕円とみなすのが適切であろう。つぎの各式は渡辺³³⁾のカツオおよびBUEN³³⁾のイワシの2例を用い、円形近似と楕円近似の優劣を調べた結果を示す。すなわち、カツオの体高と体巾は最大胴周付近では、 $2a=12.50\text{cm}$ 、 $2b=8.80\text{cm}$ である、ゆえに、

$$\text{円形近似の場合：円の半径 } (r) \doteq \frac{a+b}{2} = 5.325\text{cm}$$

$$\text{円の面積 } (S_C) = \pi r^2 = 28.356\pi\text{cm}^2$$

$$\text{円周 } (G_C) = 2\pi r = 2 \times 5.325\pi\text{cm}$$

$$\text{楕円近似の場合：離心率 } (\epsilon) = \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \doteq 0.7$$

$$\text{楕円の面積 } (S_E) = \pi ab = 27.750\pi\text{cm}^2$$

$$\text{楕円周 } (G_E) \doteq 2\pi a \left(1 - \frac{1}{4}\epsilon^2\right)\text{cm} = 2 \times 5.480\pi\text{cm}$$

$$\text{面積の近似誤差 } (E_S) = \frac{S_E - S_C}{S_E} \times 100 \doteq 2.95\%$$

$$\text{胴周の近似誤差 } (E_G) = \frac{G_E - G_C}{G_E} \times 100 \doteq 2.46\%$$

イワシでは体長が120mmのとき、体巾に対する体高の比は0.593となる。また、 $\epsilon \doteq 0.8$ であるから、前例と同様の方法から、 $E_S \doteq 7.12\%$ 、 $E_G \doteq 5.12\%$ である。イワシの誤差はいずれもカツオより大きい。これらの計算結果は魚体の扁平度が大きくなるほど魚体断面形状に楕円を用いる方法が優位であることを示している。

魚の対網行動 コッドエンドに入網した魚群が網目通過の際に尾の方から網目にはいるのではなく、すべての魚が頭の方から網目にはいるものと仮定した。この仮定は大きい網目に対する小さな魚の間では成立しないことがある。それは網に追われた小さな魚が網目の直前で頭を反転することなく尾の方から網目を通り抜ける場合が想定されるからである。一般に、魚体のひれは網目通過の障害になるため、選択効果を減ずるように作用する。魚が尾の方から網目にはいる場合は頭の方からはいるときに比べ、とくに背びれと胸びれが網目通過の障害になると考えられる。したがって、尾の方から網目にはいる場合には小型魚の漁獲が多くなるであろう。本理論は魚体の体高として実体高を用いているため、ひれの作用と選択性の関係を明らかにすることはできない。しかし、ひれの長さを含めた精密な魚体測定を行なうことにより、ひれの作用を理論式に導入することは可能であろう。たとえば、理論式の体高には実体高($2a$)に背びれの長さ($\Delta 2a$)を加えた見掛けの体高($2a + \Delta 2a$)を用いるのも1方法といえよう。この場合、魚体の扁平度(ϵ)の計算には見掛けの体高を用いなければならないことはいうまでもない。

上述のように、前提においた諸仮定は実際と異なることもあり、今後さらに吟味しなければならない事項も多い。このような理由から、本理論の实地適用にあたっては網目の可撓性・魚体断面形状の近似度・魚体のひれの作用等に対する種々の付加的考察が必要である。仮定と実際の矛盾は魚体の精密測定と断面形状の測定資料の収集を得て、間接的に解消できることが少なくない。今後はこれらの資料の入手につとめ、さらによく実測値に近似した値を与える理論式を追求したい。

要 約

網目選択性の調査は魚種別、目合別の選択曲線を求めるために行なわれる。選択曲線を求めるには各魚種とも充分な漁獲尾数をうることが必要である。しかし、多く漁獲される特定の卓越種を除いた大部分の魚種は選択曲線を求めるのに充分な尾数が得られない。このような多獲されない魚種では、他の方法を用いて選

扱曲線を推定することが必要になる。その1推定法として、本研究では網目形状と魚体断面形状の相互関係に基づいて選択曲線を理論的に求めた。本理論の最大の利点は海上実験に頼ることなく、魚体の測定資料から選択曲線を推定できることである。

第4図に示した理論選択曲線群のうち、 $\theta = 60'$ の選択曲線は実測選択曲線と比較した結果、かなり実用的であることが明らかとなった。また、第4図の横座標を $\frac{2a}{T/4}$ から $2a$ におきかえると、目合別の選択曲線を同一区上に表示することができ、目合と選択性の関係を知ることができる。得られた理論選択曲線を検討した結果、つぎの知見を得た。

1. 曲線傾斜は魚体の扁平度 (ϵ) に左右される。つまり、選択の「鋭さ」は網目形状よりも、主として魚体断面形状に左右される。
2. 網目の角度 (θ) は $\left(\frac{2a}{T/4}\right)$ の両限值に大きく影響し、選択の「鋭さ」にはあまり影響しない。
3. 網目の角度 (θ) が一定であれば、0% 選択点はすべての ϵ に対して一定値を示すが、100% 選択点は ϵ の値が大きくなるにつれて右方 ($\frac{2a}{T/4}$ が大きい値) へ移動する。
網目の角度 (θ) が同一値を示す場合には、 ϵ が大きくなるにつれて、曲線の傾斜はゆるやかになる。とくに、50% 選択点より上部での傾斜はそれ以下での傾斜に比べゆるやかである。 ϵ が小さい場合 ($\epsilon = 0.5$) には、選択は鋭くなる。 ϵ が大きくなるにつれて、選択の「鋭さ」は鈍化するが、曲線下部では ϵ がかなり大きい場合でさえ鋭い選択を示す。 $\epsilon = 0$ (円形断面魚) の場合では、すべての θ に対して絶対選択となる。
4. 選択域は θ および ϵ が大きくなるにしたがって広がる。
5. 目合 $\left(\frac{T}{4}\right)$ に任意の定数を代入し、第4図の横軸を $\frac{2a}{T/4}$ から $2a$ におきかえると、目合別の選択曲線が求められる。この曲線の傾斜は θ および ϵ が一定のときに、目合の大きさに比例してゆるやかになる。

文 献

- 1) ANCELLIN, J., 1956: Recherches sur la Sélectivité des Chaluts pour la Pêche de la Sole, du Merlan et du Merlu. *Revue des Travaux de L'institut des Pêches Maritimes., Revue Trimestrielle.* 20 (3), 295-332.
- 2) 青山恒雄・北島忠弘, 1959: 底曳網の網目の選択作用-I. 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.
- 3) ————, 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.
- 4) ————, 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.
- 5) ————, 1959: 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.
- 6) ————, 1961: 底びき網の選択作用とその以西底びき網漁業資源管理への応用. 西海区水研報, (23), 1-63.
- 7) BERST, A. H., 1961: Selectivity and Efficiency of Experimental Gill Nets in South Bay and Georgian Bay of Lake Huron. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 90 (4), 413-417.
- 8) BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT, 1957: On the Dynamics of Exploited Fish Populations. *Fish. Invest., Ser. 2*, (19), 1-533.
- 9) ————, 1957: Mesh Selection of Cod (North Sea and Arctic) and Haddock (Arctic). *ICNAF. Joint Sci. Meet. Pap. S-4*, 1-2.
- 10) BOEREMA, L. K., 1956: Some Experiments on Factors Influencing Mesh Selection in Trawls. *J. du Cons.*, 21 (2), 175-191.

- 11) BUCHANAN-WOLLASTON, H. J., 1927: On the Selective Action of a Trawl Net, with Some Remarks on Selective Action of Drift Nets. *J. du Cons.*, 2 (3), 343-355.
- 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) —————, 1958: Underwater Television Observation on the Effect of Chafing Gear on Escapement of Haddock. Summary of gear selection information for the commission area. *ICNAF. Ann. Proceedings*, 8, 101-102.
- 14) DAVIS, F. M., 1929: Preliminary Notes on Experimental Trawling with Cod-End Meshes of Different Sizes. *J. du Cons.*, 4 (3), 287-299.
- 15) FARRAN, G. P., 1936: On the Mesh Selection of Herring Drift-Nets in relation to the Condition Factor of the Fish. *J. du Cons.*, 11 (1), 43-52.
- 16) 藤石昭生, 1971: エビ漕網の基礎的研究-I. 23mm目合のコッドエンドの網目選択性の調査について. 本報告, 19 (2・3), 1-16.
- 17) GRAHAM, M., 1954: Trials of Mesh Selection in Trawls and Seines. *J. du Cons.*, 20 (1), 63-71.
- 18) GULLAND, J. A., 1956: On the Selection of Hake and Whiting by the Mesh of Trawls. *J. du Cons.*, 21 (3), 297-309.
- 19) —————, 1961: The Estimation of the Effect on Catches of Changes in Gear Selectivity. *J. du Cons.*, 26 (2), 204-214.
- 20) 肥後伸夫, 1968: 魚の遊泳運動における π 効果現象-I. 水平反転運動, 日水誌, 34 (4), 319-323.
- 21) HODGSON, W. C., 1927: Preliminary Notes on Experiments Concerning the Selective Action of Drift-Net. *J. du Cons.*, 2 (3), 356-360.
- 22) HOLT, S. J., 1957: A Method of Determining Gear Selectivity and Its Application. *ICNAF. Joint Sci. Meet. Pap. S-15*, 21.
- 23) ICNAF. ICES. FAO., 1957: Summary Report of the Scientific Meeting of the ICNAF. ICES. FAO. 1-15.
- 24) 石田昭夫, 1962: 刺網の網目選択性曲線について. 北海道水研報, (25), 20-25.
- 25) 柘田献二, 1953: 網地の縮結と魚群の網目通過に就て-I. 日水誌, 18 (8), 365-372.
- 26) LUCAS, C. E., A. RITCHIE, B. B. PARRISH and J. A. POPE, 1954: Mesh Selection in Round-fish Seine. *J. du Cons.*, 20 (1), 35-71.
- 27) MARGETTS, A. R., 1954: The Length-Girth Relationship in Haddock and Their Application to Mesh Selection. *J. du Cons.*, 20 (1), 56-61.
- 28) —————, 1954: Selection of Sole by the Mesh of Trawls. *J. du Cons.*, 20 (3), 276-289.
- 29) MCCOMBIE, A. M. and F. E. J. FLY, 1960: Selectivity of Gill Nets for Lake Whitefish, *Coregonus culpeaformis*. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 89 (2), 176-184.
- 30) 梨本勝昭, 1967: 網刺し現象の基礎的研究 (第III報). 適正縮結の理論的考察. 北大水産彙報, 15 (4), 73-80.
- 31) OLSEN, S., 1959: Mesh Selection in Herring Gill Nets. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 16 (3), 339-349.
- 32) PARRISH, B. B., 1956: Experiments to Determine the Effect of the Use of a Small Meshes Cover on the Fishing Power of the Otter Trawl. *ICNAF. Joint Sci. Meet. Pap. S-4.1-13*.
- 33) RAFAEL de BUEN, 1927: An Account of Work which Spain has carried out in the Atlantic Ocean and the Strait of Gibraltar. *J. du Cons.*, 2 (3), 269-308.
- 34) 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.
- 35) 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年秋季大会講演要旨

集. 67-68.

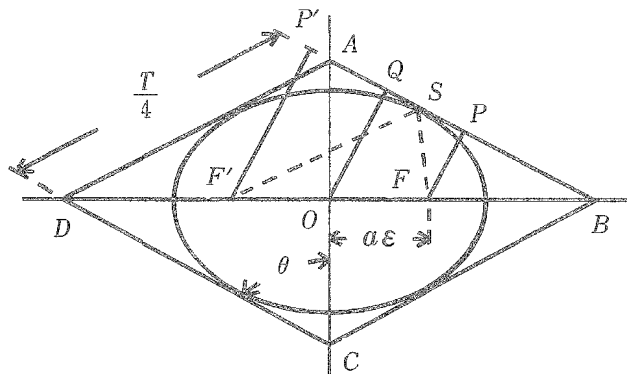
- 36) SCOTTISH HOME DEPARTMENT MARINE LABORATORY, 1952: Underwater Photography of the Seine Net whilst Fishing. *World Fishing*, Dec. 1 (9), 329-334.
- 37) 西海区水産研究所, 1950: 東支那海魚体測定要報 (精密調査の部). 3. 1-242.
- 38) 渡辺信雄, 1942: カツオの魚体密度・体温および遊泳速度に関する一測定. 日水誌, 11 (4), 146-148.

付 録 (1)

付録第1図は網目 (A. B. C. D.) に内接した楕円 (長軸=2a, 短軸=2b) を示す。 $\overline{AB} = \frac{T}{4}$, $\angle BAO = \theta$ である。また, 楕円の数值離心率 (ϵ) は本文の(2)式より

$$\epsilon = \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \dots\dots\dots (1.1)$$

である。Oは楕円中心であり, 菱形中心と一致する。FおよびF'は楕円の2つの焦点である。いま, F, F' およびOから線分 \overline{AB} に垂線を下し, その交点をP, P'およびQとすると, 楕円と \overline{AB} の接点 (S) の座標 (x_i, y_i) はつぎのように求められる。すなわち, 楕円の一般式はOを原点とし, \overline{OA} および \overline{OB} をそれぞれy軸, x軸とすればつぎのように表わされる。



App. fig. 1. Relationship between lozenge (A. B. C. D) and inscribed ellipse. Rectangular co-ordinates system were expressed in the line \overline{OB} as X axis and the line \overline{OA} as Y axis. The co-ordinate of S is (x_i, y_i), with center of ellipse at origin O. S and F or F' show a point of contact at the tangent line \overline{AB} and focal points of ellipse. $\overline{FP}, \overline{F'P'}$ and \overline{OQ} indicate the perpendiculars from the point F, F' and O to the line \overline{AB} .

$$\frac{x^2}{c^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \dots\dots\dots (1.2)$$

(1.2) 式を微分して (1.3) 式をうる。

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{b^2 x}{a^2 y} = -\tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \dots\dots\dots (1.3)$$

(1.1) および (1.3) 式より (1.4) 式をうる。

$$\tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = (1 - \epsilon^2) \frac{x^2}{a^2 - x^2} \dots\dots\dots (1.4)$$

$x > 0, y > 0$ であるから, (1.2) および (1.4) 式を解いて S の座標 (x_i, y_i) をうる。

$$x_i = \frac{a \cos \theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta}}, \quad y_i = \frac{a(1 - \varepsilon^2) \sin \theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta}}$$

つぎに, 楕円に関する一般定理から,

$$\overline{FP} = b \sqrt{\frac{a - \varepsilon x}{a + \varepsilon}}, \quad \overline{F'P'} = b \sqrt{\frac{a + \varepsilon x}{a - \varepsilon x}}$$

$$\overline{FS} = a - \varepsilon x, \quad \overline{F'S} = a + \varepsilon x$$

が成立する。また, $\triangle BFP, \triangle BOQ$ および $\triangle BF'P'$ は相似であるから, 次式が成立する。

$$\overline{BF} = \overline{BF'} \cdot \frac{\overline{FP}}{\overline{F'P'}} = (\overline{BF} + 2a\varepsilon) \cdot \frac{a - \varepsilon x}{a + \varepsilon x}$$

$$\therefore \overline{BF} = \frac{a^2}{x} - a\varepsilon$$

$$\overline{BO} = \overline{FO} + \overline{BF} = \frac{a^2}{x^2} \dots\dots\dots (1.5)$$

$\triangle AOE$ より

$$\overline{BO} = \frac{T}{4} \cdot \sin \theta \dots\dots\dots (1.6)$$

(1.5) = (1.6) とおいて, x に x_i を代入すれば次式をうる。

$$\frac{2a}{T/4} = \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta}} \dots\dots\dots (1.7)$$

楕円が菱形の短対角線側にはいって内接した場合には (1.7) 式の θ に $(\frac{\pi}{2} - \theta)$ を代入して次式をうる。

$$\frac{2a}{T/4} = \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta}} \dots\dots\dots (1.8)$$

なお, \overline{OA} および \overline{OB} の長さは (1.1) および (1.3) 式よりつぎのように得られる。

$$\overline{OA} = \frac{a\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta}}{\sin \theta}, \quad \overline{OB} = \frac{a\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta}}{\cos \theta}$$

付 録 (2)

付録第2図は菱形内の楕円が回転し, 菱形の1辺 \overline{AB} と S で接し, 菱形の長対角線に対する楕円長軸の傾き角が φ である場合を示す。

原点を O とし, 楕円長軸および短軸をそれぞれ x 軸, y 軸とすれば, S の座標 (x_j, y_j) および $\overline{OB'}$ は付録—(1)の各式を応用し, つぎのように求められる。

$$x_j = \frac{a \cos(\theta - \varphi)}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\theta - \varphi)}}, \quad y_j = \frac{a(1 - \varepsilon^2) \sin(\theta - \varphi)}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\theta - \varphi)}}$$

$$\overline{OB'} = \frac{a\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\theta - \varphi)}}{\cos(\theta - \varphi)} \dots\dots\dots (2.1)$$

また, 線分 \overline{AB} に直角に交わり, しかも, O 点を通る直線が \overline{AB} と交わる点を R とする。 $\triangle ROB'$ より, 次式が成立する。

$$\overline{OR} = \overline{OB'} \sin \left\{ \frac{\pi}{2} - (\theta - \varphi) \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

(2.1), (2.2) 式より (2.3) 式をうる。

$$\overline{OR} = a\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2(\theta - \varphi)} \dots\dots\dots (2.3)$$

△ROB より, 次式が成立する。

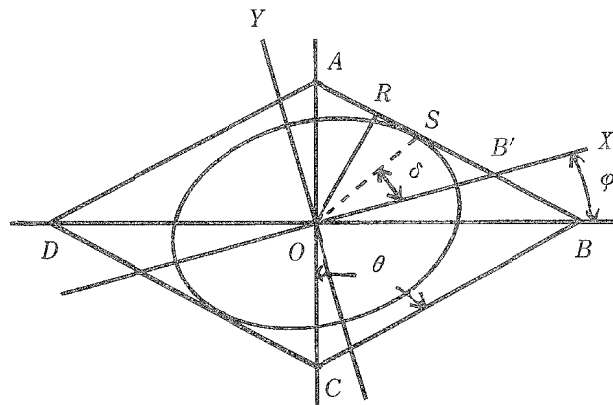
$$\begin{aligned} \overline{OR} &= \overline{OB} \cdot \cos\theta \\ &= \frac{T}{4} \cdot \frac{\sin 2\theta}{2} \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

(2.3) = (2.4) とおいて, (2.5) 式をうる。

$$\frac{2a}{T/4} = \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)}} \dots\dots\dots (2.5)$$

(2.5) を φ について解くとつぎのとおりである。

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



App. fig. 2. Turned ellipse in contact with the opposite sides of lozenge at the condition under which the center of ellipse coincided with that of lozenge. \overline{OR} is a perpendicular from origin O to a side AB . \overline{OY} and \overline{OX} are rectangular co-ordinate axis at the origin O .

複号は負符号が菱形の長対角線側にはいった場合を, 正符号が短対角線側にはいった場合を示す。つぎに, S と O を通る直線が楕円中心で楕円長軸となす角を δ とすると, δ は $S(x_j, y_j)$ より求められる。すなわち,

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{y_j}{x_j} \\ &= (1-\epsilon^2) \tan(\theta-\varphi) \\ \therefore \delta &= \tan^{-1} \{ (1-\epsilon^2) \tan(\theta-\varphi) \} \end{aligned}$$

付 録 (3)

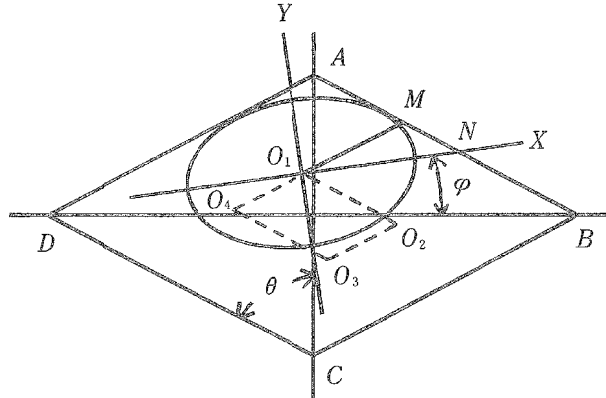
菱形の長対角線に対する楕円長軸の傾斜角 (φ) を一定として, 菱形内の楕円を動かすと, 楕円中心は付録第 3 図に示したように, O_1, O_2, O_3, O_4 の各点を通る。また, $\angle O_2 O_1 O_4 = \angle O_2 O_3 O_4 = 2\theta, \angle O_1 O_2 O_3 = \angle O_1 O_4 O_3 = \pi - 2\theta$ であるから, 平行四辺形 $O_1 O_2 O_3 O_4$ の面積 $\{S(\varphi)\}$ は次式で与えられる。

$$S(\varphi) = \overline{O_1 O_2} \times \overline{O_4 O_3} \cdot \sin 2\theta \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで, 楕円中心が O_1 と一致した場合を考え, 楕円の長軸, 短軸を x 軸, y 軸とする。

$\overline{O_1 O_4}$ の延長線が \overline{AB} と交わる点を M , 楕円長軸の延長線が \overline{AB} と交わる点を N とすれば, $\overline{O_1 N}$ の長さは付録(1)を応用し, つぎのように求められる。

$$\overline{O_1 N} = \frac{a\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)}}{\cos(\theta-\varphi)}$$



App. fig. 3. The path swept out by the center of ellipse. The shape of trajectory is a parallelogram at the state which φ is held constant. $\overline{O_1 Y}$ and $\overline{O_1 X}$ should be read along the Y and X axes at the origin O_1 , $\overline{O_1 M}$ is parallel to \overline{AD} .

$\triangle O_1 MN$ より

$$\begin{aligned} \overline{O_1 M} &= \overline{O_1 N} \cdot \frac{\cos(\theta-\varphi)}{\sin 2\theta} \\ &= \frac{a\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)}}{\sin 2\theta} \end{aligned}$$

φ が一定であるとの条件から, $\overline{O_1 O_4} \parallel \overline{AD}$ および $\overline{O_1 O_2} \parallel \overline{AB}$ が成立する。したがって,

$$\begin{aligned} \overline{O_1 O_4} &= \overline{AD} - 2 \cdot \overline{O_1 M} \\ &= \frac{T}{4} - \frac{2a\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)}}{\sin 2\theta} \dots\dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

$\overline{O_1 O_2}$ は $\overline{O_1 O_4}$ を求める方法に準じて, つぎのように得られる。

$$\overline{O_1 O_2} = \frac{T}{4} - \frac{2a\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)}}{\sin 2\theta} \dots\dots\dots (3.3)$$

(3.2) および (3.3) 式を (3.1) 式に代入して整理すると $S(\varphi)$ は次式で表わされる。

$$S(\varphi) = \frac{(2a)^2}{\sin 2\theta} \left\{ \frac{\sin 2\theta}{\left(\frac{T}{4}\right)} - \sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} \right\} \left\{ \frac{\sin 2\theta}{\left(\frac{T}{4}\right)} - \sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} \right\} \dots (3.4)$$

したがって本文に述べた面積比 (P) はつぎのように書き改められる。

$$\begin{aligned} P &= \frac{2}{\frac{\pi}{2} \cdot (\sin 2\theta)^2} \cdot \left(\frac{2a}{T/4}\right)^2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{\sin 2\theta}{\left(\frac{T}{4}\right)} - \sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} \right\} \\ &\quad \left\{ \frac{\sin 2\theta}{\left(\frac{T}{4}\right)} - \sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} \right\} d\varphi \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi - \left(\frac{2a}{T/4} \right) \cdot \frac{1}{\sin 2\theta} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{ \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} + \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} \} d\varphi \right. \\ \left. + \left(\frac{2a}{T/4} \right)^2 \frac{1}{(\sin 2\theta)^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} \cdot \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} d\varphi \right] \dots (3.5)$$

(3.5) 式の実際計算は $\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)}$ および $\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)}$ をそれぞれ級数展開し、各項ごとに積分する方法によった。すなわち、

$$\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} = 1 - \frac{1}{2} \varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi) + \frac{\frac{1}{2} \cdot (\frac{1}{2}-1) \varepsilon^4}{2 \cdot 2!} \sin^4(\theta-\varphi) \\ - \frac{\frac{1}{2} (\frac{1}{2}-1) (\frac{1}{2}-2) \varepsilon^6}{3 \cdot 3!} \sin^6(\theta-\varphi) + \dots \\ \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} = 1 - \frac{1}{2} \varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi) + \frac{\frac{1}{2} (\frac{1}{2}-1) \varepsilon^4}{2 \cdot 2!} \sin^4(\theta+\varphi) \\ - \frac{\frac{1}{2} (\frac{1}{2}-1) (\frac{1}{2}-2) \varepsilon^6}{3 \cdot 3!} \sin^6(\theta+\varphi) + \dots$$

上式の右辺各項を乗じて次式をうる。

$$\sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} \cdot \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} \\ = \{ \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} + \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} - 1 \} \\ + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \varepsilon^4 \sin^2(\theta-\varphi) \sin^2(\theta+\varphi) \\ + \left(\frac{1}{2} \right)^4 \varepsilon^6 \sin^2(\theta-\varphi) \sin^2(\theta+\varphi) \{ \sin^2(\theta-\varphi) + \sin^2(\theta+\varphi) \} \\ + \left(\frac{1}{2} \right)^6 \varepsilon^8 \sin^4(\theta-\varphi) \sin^4(\theta+\varphi) \\ + \left(\frac{1}{2} \right)^5 \varepsilon^8 \sin^2(\theta-\varphi) \sin^2(\theta+\varphi) \{ \sin^4(\theta-\varphi) + \sin^4(\theta+\varphi) \} \\ + \dots$$

したがって、

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \{ \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta-\varphi)} + \sqrt{1-\varepsilon^2 \sin^2(\theta+\varphi)} \} d\varphi \\ = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi - \left(\frac{1}{2} \right) \varepsilon^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{ \sin^2(\theta-\varphi) + \sin^2(\theta+\varphi) \} d\varphi \\ - \left(\frac{1}{2} \right)^3 \varepsilon^4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{ \sin^4(\theta-\varphi) + \sin^4(\theta+\varphi) \} d\varphi - \dots (3.6)$$

各級数項の積分は同じ方法で計算できるので (3.6) 式の右辺第2項の計算例をつぎに示す。

いま、楕円の傾斜角 (φ) が 0 から φ_i まで変化できるとすれば、(3.6) 式の右辺第2項は次式のように積分できる。

$$\frac{1}{2} \varepsilon^2 \int_0^{\varphi_i} \{ \sin^2(\theta-\varphi) + \sin^2(\theta+\varphi) \} d\varphi \equiv I \\ \theta - \varphi \equiv \beta_1, \quad \theta + \varphi \equiv \beta_2 \quad \text{とすると,} \\ I = \frac{1}{2} \varepsilon^2 \left[- \int_{\theta}^{\theta-\varphi_i} \sin^2 \beta_1 d\beta_1 + \int_{\theta}^{\theta+\varphi_i} \sin^2 \beta_2 d\beta_2 \right] \\ = \frac{1}{2} \varepsilon^2 \left[\varphi_i - \frac{1}{4} \{ \sin 2(\theta+\varphi_i) - \sin 2(\theta-\varphi_i) \} \right] \\ = \frac{1}{2} \varepsilon^2 \left[\varphi_i - \frac{1}{2} \cos 2\theta \sin 2\varphi_i \right]$$