HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 竿釣の漁獲特性に関する基礎的研究 |
| Author(s) | 清水, 晋 |
| Citation | 北海道大学. 博士(水産学) 甲第2807号 |
| Issue Date | 1990-03-24 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/32718 |
| Type | theses (doctoral) |
| File Information | 2807.pdf |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文内容の要旨

| 学位の種類 | 水産学博士 | 氏名 | 清水　晋 |
|---|---|---|---|

学位論文題名

# 竿釣の漁獲特性に関する基礎的研究

今日，漁業資源を有効に利用するため，いかに漁業の管理を行うべきかが模索されている。その基礎には漁具の漁獲特性，資源量の推定，管理方法に関する知識が必要である。釣漁具は古くから世界中で使用されているが，まだ，その漁獲特性はよくわかっていない。本研究では，釣の場合の漁獲特性に着目して，これを明らかにすることを目的とした。ひとつは，これまでに得られた知識に基づいて，魚の行動や竿釣具の漁獲作用について単純な仮説を設け，決定論的な立場から漁獲過程のモデリングを行った。今ひとつは，釣針に喰いついた魚が釣り上げられる現象を確率モデルで表し，釣獲確率を導いて理論的に漁獲選択性曲線を求めた。これらの結果をもとにして，竿釣の基本的な漁獲特性を明らかにした。

モデリングの対象には実験室内で行った単純化した竿釣を選んだ。この竿釣は1本の釣針をつけた竿釣具を使用し，大きさ(256 cm ×116 cm ×70 cm)の実験水槽内に所定の尾数の魚を入れておき，これを一定の操作で釣り上げるものである。実験魚にはティラピアおよびサクラマスを使用した。

1．竿釣の漁獲過程のモデル

竿釣具の操作を大きく釣針が水中にある場合と空気中にある場合の2つの状態に分け，釣針が水中にある時間を魚の反応時間 R とし，空気中にある時間を準備時間 P とする。一方，魚の摂餌行動の変化は外部からの刺激と魚の内部状態に依存すると仮定し，魚の内部状態が異なると，同じ条件の釣漁具であってもその行動が変わり，反応時間 R や釣獲率 $\nu$ が違ってくることが想定される。釣獲率 $\nu$ は試行回数に対する漁獲尾数の割合とする。

この場合，反応時間の長さによって魚の内部状態ごとに対象となる魚の選択が生じ，1本の釣針を使用して行う竿釣の漁獲過程は，段階的に進行していく部分過程 $Z_0$，$Z_1$，$Z_2$，・・・に分割される。部分過程 $Z_n$ が終了するまでの漁獲過程の経過時間を $T_n$，試行回数を $X_n$，漁獲尾数を $C_n$ とすると，これらは初期尾数 $F_0$ の魚群を対象にした場合，n = 1，2，3，・・・では，

$$T_n = F_0 (R_0+P) + F_0 \sum_{j=1}^{n} \{ (R_j+P) \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} \quad (1)$$

$$X_n = F_0 \{1 + \sum_{j=1}^{n} \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} \quad (2)$$

$$C_n = F_0 [\nu_0 + \sum_{j=1}^{n} \{ \nu_j \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} ] \quad (3)$$

と表される。

2．釣獲確率のモデル

魚の行動の観察により，口腔内に針がかりする現象は釣針が口腔内に入る深さ，針がかりのしやすさ，かかっ

た針の外れ難さの3つの要因からなると考えられる。魚が釣針に喰いついたとき，その魚を釣り上げることができる確率を釣獲確率とし，口腔内に針がかりする確率と呑込み確率の和として表されるものとした。それぞれの確率は，1度かかった釣針が外れないものとして，吻端から口腔内の任意距離に釣針が入る確率密度と針がかりする確率密度の積から求められる。

釣獲確率のモデルを設定するにあたって，魚の口腔を単純化して円筒形状と考え，口腔内の釣針の移動について，食道の方向への移動が止まる可能性や針がかりする可能性は釣針が口腔内のどの位置にあっても同じであるとした。また，重なり合わない2つの区間での状態は独立であると仮定した。この場合，任意の区間の間に釣針の移動が止まる確率や針がかりする確率は区間の長さに比例すると考えられる。ここで，釣針の入り難さの係数を $a$ とし，針がかりの係数を $b$ として，口腔長 $Q$ の魚が喰いついたときに，先高さ $L$ の釣針が吻端からの距離 $q$ の位置まで入って，吻端からの距離 $x$ の位置に針がかりする確率密度 $h(q)\ s(q-L-x)$ を考えると，次式のようになる。

$$h(q)\ s(q-L-x) = a b e^{b(x+L)}\ e^{-(a+b)q} \qquad (4)$$

$$(0 \leqq x+L \leqq q \leqq Q+L)$$

さらに，(4) 式を $q$ について $[x+L,\ Q+L]$ を積分し，$x$ について $[0,\ Q]$ を積分すると，(5) 式のように口腔内に針がかりする確率 $P_h$ が得られる。

$$P_h = \frac{b e^{-aL} + a e^{-a(Q+L)-bQ}}{a+b} - e^{-a(Q+L)} \qquad (5)$$

一方，釣針の「さき」が食道など口腔長 $Q$ より奥に入った場合，確実にその位置に針がかりするものと考えられる。この確率を呑込み確率 $P_s$ とすると，

$$P_s = e^{-a(Q+L)} \qquad (6)$$

となる。

釣獲確率 $P_{catch}$ は口腔内に針がかりする確率 $P_h$ と呑込み確率 $P_s$ とを加えたものであるから，(5)，(6) 式より，(7) 式で表される。

$$P_{catch} = \frac{1}{a+b}\left(b e^{-aL} + a e^{-a(Q+L)-bQ}\right) \qquad (7)$$

## 3．水槽実験による2つのモデルの有効性の検討

### 1） 漁獲過程のモデルについて

水槽実験の結果，対象魚群の尾数が少ない実験条件ではモデルが適合しない少数例も認められたが，対象とした魚群の尾数が多く摂餌行動の活発な場合に，モデルの適合性は充分満足できるものであった。

限定された条件の中での竿釣ではあるが，本モデルを利用すれば，漁獲を通して反応時間の観測が可能であるから，漁獲過程の推移をかなり精度よく予測できることが実験から確かめられた。

これらのことから，釣り落とされた回数に依存して魚の反応時間が長くなって行くと仮定する本モデルの前提条件は充分意味のあるものといえる。

### 2） 釣獲確率のモデルについて

モデルによって推定した釣獲確率は竿釣の実験結果から求めた釣獲率によく一致した。したがって，釣獲確率のモデルは充分に針がかりの現象を表すものであることがわかった。

釣針の入り難さの係数 $a$ と針がかりの係数 $b$ が魚

体長および釣針の幅と相関を持つものと考え，回帰式から係数 a，b を求め，さらに釣獲確率が漁獲効率に比例するものと仮定して漁獲選択性曲線を求めた。魚体長と釣針の大きさの比を F 値とすると，F 値に対して描いた漁獲選択性曲線は石田の方法によって求めた場合には1本の曲線で表される。これに対して釣獲確率から求めた場合，F 値に対する漁獲選択性曲線は1本の曲線ではなく，魚体長ごとに形の異なる曲線となった。サクラマスの場合について述べると，袖形釣針の漁獲選択性曲線は，小さな釣針では大きな釣針の選択性より小さな魚体長で鋭い選択性を示した。反対に大きな釣針の選択性では鈍く，無選択性に近いものになることがわかった。

4．今後の課題

現実の漁獲現象は様々な要因が複雑に絡み合って起こってくる。漁業管理の科学的な根拠を与えるためには，今後はより実際の釣の条件に適応できるようにモデルを展開することが必要となる。

# 竿釣の漁獲特性に関する
# 基礎的研究

清水　晋

平成 2 年

# 目　次


緒　言　1

1．竿釣における漁獲過程のモデリング　6

1．1．竿釣の漁獲過程のモデル　6

1．2．材料と方法　12

1．3．結果　14

1．4．考察　19

2．釣針に対する魚の行動　40

2．1．釣針が魚に針がかりする要因　40

2．2．材料と方法　41

2．3．結果　45

2．4．考察　51

3．釣針の漁獲選択性　74

3．1．釣獲確率のモデル　74

3．1．1．釣針が口腔内に入る確率　75

3．1．2．針がかりの確率　77

3．1．3．釣獲確率　80

3．2．材料と方法　83

3．3．結果　85

3．4．考察　90

4．総合考察　108

要　約　124

謝　辞　126

参考文献　127

# 緒言

今日，漁業資源を有効に利用するため，いかに漁業の管理を行うべきかが模索されている。その基礎には漁獲特性，資源量推定，管理方法に関する知識が必要である。漁獲特性に着目すれば，漁業管理に都合のよい漁具を開発することも必要であるが，重要な問題は既存の漁具を使用したときの漁獲特性を明らかにするとともに，資源管理型の漁業生産にそれらをいかに有効に使用するのかを考えることである。

釣漁具は魚の摂餌生態をうまく利用したもので，構造が非常に単純であるために古くから世界中で使用されている。現在釣漁業は漁業の形態上から手釣漁業，竿釣漁業，機械釣漁業，曳縄釣漁業，立縄釣漁業，延縄漁業の6つに分類され，遊漁や商業漁獲として浮魚，中層魚，底魚を対象にし，広く盛んに行われている。

一般に釣漁具には底曳網や旋網などの網漁具と比較して，漁獲物の損傷が少なく鮮度が良いこと，漁場の制限が少ないこと，漁具規模が小さく経費が少ないことなどの利点がある。また，魚の摂餌行動の違いをうまく利用して，選択的漁獲が可能な場合もある。特に近年では，沿岸漁業において，釣漁具は活魚需要や漁獲物の鮮度の良さから注目されている。こうした状況から，対象となる限られた漁業資源をより有効に利用するために，釣漁

具を使用したときの漁獲特性を予め充分に知り，操業の合理化や釣漁具の改良を図ることが必要とされている。このためには漁獲特性として，まず時間経過とともにどのように漁獲が進行していくのかを表す漁獲過程を充分に明らかにしておく必要がある。そして，漁獲過程を考慮した上で，どのような魚が漁獲されるのかを表す漁獲選択性も同様に明らかにしておかなければならない。

これまでに行われた釣漁具に関する研究は延縄釣具類，特にまぐろ延縄に関するものが数多く行われた。主な項目は漁具材料に関するもの，[1] 操業方法の改善，[2-8] 省力化の推進，[9,10] および漁獲に関するもの[11-17] などである。曳縄釣具類や一本釣具類に関するものは非常に少なく，漁具の調査，[18-21] 漁獲の実態調査[22-28] が行われただけである。

一方，釣漁具に関する漁獲選択性の研究もまだ数少なく，実用的な知識については目的魚と使用する釣針の形状や大きさなど長年にわたる漁業者の経験則や知恵が中心である。Rollefsen[29] は旋網，刺網，延縄で漁獲された Atlantic cod の体長組成と性比を比較調査した。また，Saetersdal[30] は Atlantic cod を底曳網と延縄で漁獲し，底曳網で得られた魚の体長組成を漁場に棲息する魚の体長組成とみなし，この組成と延縄による漁獲魚の体長組成とを比較して延縄における漁獲選択性曲線を求めた。McCracken[31] は Atlantic cod と haddock に

ついて，Myhre[32] は Pacific halibat について同様の調査を行って漁獲選択性曲線を得た。小池ら[33-35] は石田[36] が考案した刺網における漁獲選択性曲線を求める方法を延縄に適用して釣針に関して漁獲選択性曲線を示した。竹内ら[37] も石田の方法を用いて漁獲選択性曲線を推定した。

これらの釣漁具の漁獲に関する研究は漁獲の実態調査の結果から，帰納的に釣漁具における漁獲特性を明らかにしようとしたものである。一方，仮説を設けて演繹的に釣漁具における漁獲特性を表すモデルを作成し，このモデルをもとにして漁獲特性を明らかにしていくことも必要である。これは漁場において詳細な調査や計測が難しい場合には有利な方法である。

ところで，釣漁具は魚の摂餌生態を利用するものであるから，その漁獲特性は魚の特性に依存し，また，操業条件や，1本釣具類では操作する漁夫の影響も受ける。そこで，本研究では漁獲特性を漁獲に関係すると考えられる要素全体の特性であるとする。ここで，釣漁具を使用して漁獲する場合について，漁獲に関係する要素全体を表す用語として「釣」を定義する。

このような観点から，吉原[38,39] はまぐろ延縄釣やかつお1本釣の最も基本的な漁獲過程を表すモデルを示した。また，平山[40] は釣餌や針がかりした魚の脱落や食害を考慮してまぐろ延縄釣の漁獲過程を求めた。しかし，

釣の漁獲選択性に関して，このような研究はまだ充分行われていない。

釣には大きく分けて1本釣と延縄釣があるが，それらの基本要素で重要なものは釣針である。したがって，1本の釣針を使用する竿釣が最も単純な漁獲特性を示すと考えられる。釣の基本的な漁獲特性を明らかにするために，まず竿釣の漁獲特性を知ることが適当である。しかし，現状では適切な方法が少なく，実際の竿釣具の漁獲作用，対象魚の状態や行動を分析することは難しい。そこで，本研究では1本の釣針をつけた竿釣具を使用して実験水槽内の魚を釣り上げる単純化した竿釣をモデリングの対象に選んだ。単純化した竿釣はこれ自体が1つの釣のモデルであるが，現実の釣における資料収集の難しさを考えると，基本的な釣の漁獲特性を明らかにするためには充分有効な方法である。

まず，実験室内における単純化した竿釣の漁獲尾数の増加現象に着目し，これまでに得られた知識に基づいて，魚の行動や竿釣具の漁獲作用について単純な仮説を設け，決定論的立場から漁獲過程のモデリングを行った。さらに，モデルを利用して単純化した竿釣の漁獲過程を解析した。次に，魚の行動観察を行って，釣針に喰いついた魚が釣り上げられる現象の要因を分析した。そして，釣針に喰いついた魚が釣り上げられる現象を確率モデルとして表し，このモデルを利用して漁獲選択性曲線を求め

た。これらの結果をもとにして，竿釣の基本的な漁獲特性を明らかにした。

## 1. 竿釣における漁獲過程のモデリング

竿釣の漁獲過程を明らかにするため，魚の行動や竿釣具の漁獲作用について単純な仮説を設け，単純化した竿釣の漁獲過程の数学モデルを作成し，実験室内において単純化した竿釣を行ってモデルの適合性について検討した。

### 1. 1. 竿釣の漁獲過程のモデル

多くの漁業者や釣人は釣を行うとだんだん魚が釣れ難くなることを経験している。狩谷ら[21]はかつお釣の漁獲過程を調査し，経過時間に対する毎分1人当りの漁獲尾数の推移を釣獲曲線として表した。Fig.1-1は釣獲曲線を3つの型に分類して示したものである。また，高橋ら[41]は蓄養いけすにいれたサバ群を対象にして実験的に竿釣を行って釣獲曲線を得た。Fig.1-2は121尾のサバを対象に2人で釣を行った結果である。また，104尾のサバを対象に6人で釣を行った結果をFig.1-3に示す。いずれの場合も漁獲過程が進行するにつれて釣れ難くなることがわかる。しかし，釣れ難くなる傾向はそれぞれ釣の条件によって異なっている。このような現象は，魚の減少に当然関連するが，魚の摂餌行動が変わることによって生じることも考えられる。

このような竿釣の漁獲過程を理論的に考察するにあた

り，まず，竿釣具の操作を分析した。水中に釣針を1回設置し，釣を行うことを試行と呼ぶことにする。竿釣具の操作は周期的な試行の繰り返しであるといえる。1回の試行の過程は，まず釣針に餌をつけ，その釣針を水中に下ろす。次に魚の「あたり」を待って，それに「あわせ」て引き上げる。そして手元に来た魚を釣針から外し，餌をつけなおす一連の操作である。表層魚を釣る場合，1試行は大きく釣針が水中にある場合と空気中にある場合の2つの状態に分けられる。釣針が水中にある時間はおもに魚の反応のしかたに依存するので，この時間を魚の反応時間 R とする。また，空気中にある時間は餌をつけるといった釣針の準備に必要な時間であるので，この時間を竿釣具の準備時間 P とする。

一方，魚の摂餌行動は欲求充足行動であるから，その行動の変化は外部からの刺激と魚の欲求状態を表す内部状態に依存するものと考えられる。そして，同時に内部状態がその刺激によって別の状態に推移するものと考えられる。[42] したがって，釣り落とされた魚は釣針などの刺激を受けて内部状態が変化していくであろうから，同じ条件の釣漁具であってもその行動が変わり，反応時間や釣獲率が異なってくることが想定される。

ここでは，単純に魚の内部状態は釣り落とされたことだけに依存して推移し，他の要因には影響されず，釣り落とされた回数が増すほど釣れ難くなるものと仮定すれ

ば，釣針に喰いついて i 回釣り落とされた内部状態 $G_i$ の魚の反応時間 $R_i$ と釣獲率 $\nu_i$ は，それぞれ $R_i < R_{i+1}$，$\nu_i > \nu_{i+1}$ となる。なお，釣獲率 $\nu_i$ は試行回数に対する漁獲尾数の割合とし，$i = 0, 1, 2, \cdots$ とする。内部状態 $G_0$ は釣針に1度も喰いついたことのない魚の状態を表す。

個々の魚がこのような行動をする初期の内部状態 $G_0$ が同じである魚群を対象にし，漁獲対象群の散逸や新たな魚群の加入がない条件で，竿釣を行う場合について考えることにする。竿釣具には1本の釣針を付けたものを使用し，準備時間 P を一定とする。

釣を始めると，内部状態 $G_0$ の魚が1試行につき1尾ずつ釣り上げられ減少する。一方で，釣り落とされて内部状態 $G_1$ に推移した魚が群の中に増えてくる。しかし，それぞれの反応時間が $R_0 < R_1$ であるから，内部状態 $G_0$ の魚だけが釣針に喰いつくことになる。さらに漁獲過程が進み内部状態 $G_0$ の魚が存在しなくなると，次に内部状態 $G_1$ の魚が釣針に喰いつき始める。そして釣り落とされて内部状態 $G_2$ になった魚が存在するようになっても，反応時間は $R_1 < R_2$ であるから，内部状態 $G_1$ の魚だけが釣針に喰いついてくる。このように釣針に喰いつく魚は反応時間によって内部状態ごとに完全に順序付けられ，同時に，群を構成する魚の内部状態は1つずつ順に推移すると仮定する。ここに，内部状態 $G_i$

の魚が選択的に漁獲対象となる部分を部分過程 $Z_i$ とする。この場合，1本の釣針を使用する竿釣の漁獲過程は，喰いついてくる魚の内部状態によって段階的に進行していく部分過程 $Z_0$，$Z_1$，$Z_2$，・・・に分割される。

部分過程 $Z_i$ において，単位時間当りの試行回数を試行率 $\alpha_i$ とする。試行の周期は反応時間 $R_i$ と準備時間 P の和であるから，試行率 $\alpha_i$ は，

$$\alpha_i = \frac{1}{R_i + P} \qquad (1-1)$$

となる。時間 t の間に行われる試行回数 $x_i(t)$ は

$$x_i(t) = \alpha_i t \qquad (1-2)$$

である。1試行につき1尾の魚が漁獲，あるいは釣り落とされるので，漁獲対象となる内部状態 $G_i$ の尾数の初期値を $F_i$ と表すと，t 時間後における内部状態 $G_i$ の尾数 $f_i(t)$ は，

$$f_i(t) = F_i - x_i(t) \qquad (1-3)$$

となる。釣獲率は $\nu_i$ であるから，t 時間に漁獲された尾数 $c_i(t)$ と釣り落とされた尾数 $u_i(t)$ はそれぞれ，

$$c_i(t) = \nu_i \, x_i(t) \qquad (1-4)$$

$$u_i(t) = (1-\nu_i) \, x_i(t) \qquad (1-5)$$

と表される。部分過程 $Z_i$ が開始してから終了するまでの経過時間を $t_i$ とすると，$f_i(t_i) = 0$ であるから (1-2)，(1-3) 式より，

$$t_i = \frac{F_i}{\alpha_i} \qquad (1-6)$$

となる。部分過程 $Z_i$ が終了すると，次の試行から内部状態 $G_{i+1}$ の魚が喰いつき，部分過程 $Z_{i+1}$ が開始する。対象となる尾数の初期値 $F_{i+1}$ は釣り落とされた尾数 $u_i(t_i)$ に等しいので，(1-5) 式に (1-6) 式を代入して，

$$F_{i+1} = u_i(t_i) = F_i\,(1-\nu_i) \qquad (1-7)$$

を得る。

ここで，部分過程 $Z_0$ における対象となる内部状態 $G_0$ の尾数の初期値 $F_0$ を特に初期尾数と呼ぶことにする。各部分過程において，対象魚となる尾数の初期値 $F_i$ と試行回数 $x_i(t)$，内部状態 $G_i$ の尾数 $f_i(t)$，漁獲尾数 $c_i(t)$，釣り落とされた尾数 $u_i(t)$ が時間経過にともなって変化するようすを模式的に Fig.1-4 に示す。

竿釣の漁獲過程は部分過程の和である。部分過程 $Z_n$ が終了するまでの漁獲過程の経過時間を $T_n$，試行回数を $X_n$，漁獲尾数を $C_n$ と表すことにする。これらはそれぞれ $Z_0$ から $Z_n$ までの各部分過程の開始から終了までの経過時間 $t_i$ の和として (1-1)，(1-6)，(1-7) 式より，試行回数 $x_i(t_i)$ の和として (1-2)，(1-6)，(1-7) 式より，漁獲尾数 $c_i(t_i)$ の和として (1-4)，(1-6)，(1-7) 式より導かれる。経過時間 $T_n$，試行回数

$X_n$, 漁獲尾数 $C_n$ は, $n=0$ とき, それぞれ

$$T_0 = F_0 (R_0 + P) \tag{1-8}$$

$$X_0 = F_0 \tag{1-9}$$

$$C_0 = F_0 \nu_0 \tag{1-10}$$

となる。$n=1, 2, 3, \cdots$ では, それぞれ,

$$T_n = F_0 (R_0 + P) + F_0 \sum_{j=1}^{n} \{ (R_j + P) \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} \tag{1-11}$$

$$X_n = F_0 \{ 1 + \sum_{j=1}^{n} \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} \tag{1-12}$$

$$C_n = F_0 [\nu_0 + \sum_{j=1}^{n} \{ \nu_j \prod_{k=0}^{j-1} (1-\nu_k) \} ] \tag{1-13}$$

と表される。

漁獲過程の経過時間 $T_n$, 試行回数 $X_n$, 漁獲尾数 $C_n$ は各部分過程の終了時点の値しか持たない。各部分過程の試行回数, 漁獲尾数は (1-2), (1-4) 式のように時間 t の1次関数として表されている。したがって, ($T_n$, $X_n$), ($T_n$, $C_n$) の各座標を直線で結ぶことによって, 竿釣の漁獲過程における経過時間と試行回数および漁獲尾数の増加傾向との関係を図に表すことができる。これを模式的に示したのが Fig.1-5 である。

Fig.1-5 のような経過時間と試行回数および漁獲尾数との関係は, (1-8), (1-9), (1-10) 式および (1-11), (1-12), (1-13) 式のとおり, 初期尾数, 反応時間, 準備

時間，釣獲率の関数でもある。そこでこれら4つの変数に着目して実験を行い，モデルの適合性について検討した。反応時間と釣獲率は1つの漁獲過程の間に魚の内部状態に依存して変化するものである。しかし，これらは対象魚種や使用する釣針の大きさによっても異なると考えられる。そこで，これらについては魚種や釣針の大きさを変えた実験も行って検討した。

## 1．2．材料と方法

得られたモデルを実際に適用できるか，以下の実験を行って調べた。実験Ⅰでは初期尾数，実験Ⅱでは準備時間，実験Ⅲでは釣針の大きさを変えて合計 17 種類の条件を設定し，室内において1日に1実験を行った。実験した条件を Table 1-1 に示す。実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲでは，それぞれ同じ大きさの釣られた経験のない魚を 500 尾以上必要とするため，養殖魚を使用した。実験Ⅰでは群集性が強いティラピア *Tilapia mossambica* を，実験Ⅱ，Ⅲでは反応時間が短くなるように行動の機敏なサクラマス *Oncorhynchus masou* を用いた。実験Ⅰ，Ⅲの実験魚は実験水槽と同じ飼育水槽で約1年間，実験Ⅱの実験魚は約2カ月間飼育された。実験魚が実験開始時点に同一の内部状態であるように，実験日の1週間前から養鱒稚魚用配合飼料を日常の3分の1程度に減量し，100 尾当り実験Ⅰでは 2.5 g，実験Ⅱでは 3.3 g，実験Ⅲでは 30

g を1日1回与えた。実験Ⅰの初期尾数 30 尾については実験魚の個体差を考慮して2度行い，これらをAとBで区別した。実験Ⅰの結果を考慮して実験Ⅱ，Ⅲの初期尾数を 100 尾にした。

実験に使用した竿釣具の概要を Fig.1-6 に示す。1 m の竿先にはマイクロ・スイッチを取付けた。これをパーソナル・コンピュータに接続し，釣針を下ろした時刻と上げた時刻を自動的に記録した。併せて，入力した漁獲の有無を記録し，所定の準備時間の経過後，釣針を下ろす合図の音を発するようにした。釣針には実験Ⅰと実験Ⅱでは釣餌を針先につけやすい山女型釣針を使用し，実験Ⅲでは大きさの種類が豊富である袖型釣針を用いた。使用した釣針の形状と大きさを Fig.1-7 に示す。釣餌には柔らかく水に溶けないように，上記の飼料を体積 3:2 の比率に強力小麦粉と混ぜて蒸したものを直径約 4 mm に丸めて使用した。これを釣針の「さき」がでないように釣針につけた。

実験前日に容積 500 l の飼育水槽から水深 40 cm にしてエアレーションを行った大きさ 256 cm × 116 cm × 70 cm の実験水槽に実験魚を入れた。水槽の内部はどちらも青色である。当日，実験開始 4～5 時間前に実験水槽を暗幕で囲い，上部に取り付けた 110 W の白色蛍光灯 2 灯によって照明し，水槽中央部水面の照度は 500 lx であった。釣手は同じ人が担当し，準備時間を一

定にするため信号音に従い，60 cm ほど開けた暗幕の隙間から釣針を水槽中央部に下ろした。「あわせ」を浮子の先端が水没する瞬間に行い，一気に引き上げた。浮子の先端まで沈まない「ひき」は無効とした。そして，釣上げた魚を逐次別の飼育槽に移した。実験は 10 分間経過しても有効な「ひき」がない時点で終了した。

## 1．3．結果

初期尾数を変えた実験Ｉで得られた経過時間と試行回数の関係，漁獲尾数との関係を Fig.1-8 と Fig.1-9 に示す。同様に，準備時間を変えて行った実験IIの各結果を Fig.1-10 と Fig.1-11 に示す。また，釣針の大きさを変えて行った実験IIIの各結果について同様に整理し，Fig.1-12 と Fig.1-13 に示す。記号は実験値を表し，実線は計算値である。

次のようにして釣獲率と反応時間を求め，モデルを実験結果に適合させた。まず，実験から得た試行回数と漁獲尾数の関係を基に，漁獲過程を部分過程に分割し，釣獲率を求めた。試行 268 回目まで行った実験Ｉの初期尾数 150 尾の結果を例にすると，部分過程 $Z_0$ は試行 1 回目から 150 回目である。この間の漁獲尾数は 90 尾となるから，部分過程 $Z_1$ の対象となる尾数の初期値 $F_1$ は 60 尾である。部分過程 $Z_1$ は試行 151 回目から 210 回目までとなる。以下同様に $Z_2$ は試行 211 回

目から 250 回目まで，$Z_3$ は 251 回目から 280 回目までと見積られる。釣獲率は部分過程 $Z_0$，$Z_1$，$Z_2$，$Z_3$ でそれぞれ 0.60，0.33，0.25，0.22 となった。次に各部分過程の経過時間と試行回数の関係を求め，試行回数 $x_i(t)$ が測定値に最も適合するように試行率を求めた。このようにして漁獲過程を部分過程に分割し，試行回数 $x_i(t)$ と漁獲尾数 $c_i(t)$ を測定値に適合させた初期尾数 150 尾のときの結果を Fig.1-14 に示す。図中の経過時間は部分過程 $Z_n$ が終了するまでの経過時間 $T_n$ を表す。次に得られた試行率から周期を求め，実測して得た準備時間の平均値を差し引いて反応時間を求めた。(1-8)，(1-9)，(1-10) 式および (1-11)，(1-12)，(1-13) 式より，($T_n$，$X_n$)，($T_n$，$C_n$) の各座標値を求め，それぞれ直線で結ぶことによって Fig.1-8～Fig.1-13 を描いた。そして全体の適合性を見ながら，モデルが最も適合するように反応時間と釣獲率を補正した。釣獲率を補正した場合，補正した釣獲率に基づいて漁獲過程を分割しなおした。

得られた各部分過程に対する反応時間を実験別に整理して Table 1-2 に示す。また，釣獲率を Table 1-3 に整理して示す。部分過程が推移するとともに，言い換えると魚の内部状態が推移するにつれて，反応時間は増加し，釣獲率は低下した。測定した準備時間の平均値を実験別に Table 1-4 に示す。準備時間の測定値は魚が釣針

を呑込んだ場合や釣針を破損した場合などでは長くなった。実験IIの準備時間の条件を満足しているか，設定した時間より 10 秒以上長くなった回数を調べると，ほとんどの場合 4 回以下であり，測定回数の 3 % 以下であった。平均値はこのような測定値を除いて求めた。準備時間の平均値はいずれも設定した時間に 1.0～1.5 秒加えた値となり，実験は準備時間の条件を充分満足した。例外として実験IIIの 3 号釣針の場合，釣針が小さくて扱い難く，釣針を飲み込んだ魚が 23 尾と特に多いので，準備時間が 25 回も 10 秒以上長くなった。このため反応時間の推定には全実測値の平均 42.8 秒を用いた。

ティラピアを使用して初期尾数を変えて行った実験Iの結果，試行回数，漁獲尾数の時間的増加を示す Fig. 1-8，1-9 のように初期尾数 90 尾以上の実験では試行回数と漁獲尾数はどちらも折線状に増加し，モデルは実験結果とよく適合した。しかし，初期尾数 60 尾以下の場合には試行回数と漁獲尾数の増加傾向は 90 尾以上の場合と明白に異なり，モデルはこれらの結果によく適合しないので，図中に計算結果を描かなかった。

実験Iについて，魚の内部状態をその状態に至るまでに釣り落とされた回数で表し，この回数と各部分過程の反応時間の関係を Fig.1-15 に示す。初期尾数 60 尾以下と 90 尾以上とでは異なる傾向が認められた。後者では部分過程が進むことによって次第に反応時間が増加す

る傾向を示すが，前者の反応時間は Fig.1-15 に示すように必ずしも釣り落とされた回数とともに増加するわけではなく，モデルの仮定と矛盾する結果を示す。実験魚の飼育条件は同じであったが，観察された魚の行動は初期尾数 90 尾以上では魚は特に警戒する様子もなく，競合して釣針に突進する非常に活発な摂餌行動を示した。60 尾以下の場合，実験開始前から非常に神経質であり，周囲を警戒しながら徐々に釣針に接近して喰いつく行動が見られた。

魚が釣り落とされた回数と各部分過程の釣獲率の関係を Fig.1-16 に示す。釣獲率は概ね釣り落とされた回数の増加とともに減少した。

サクラマス 100 尾を使用して準備時間をいろいろ変えて行った実験IIにおける試行回数，漁獲尾数と経過時間の関係は Fig.1-10 と Fig.1-11 に示したように，モデルと実験結果とよく適合した。釣り落とされた回数と反応時間の関係を Fig.1-17 に示す。また，Table 1-2 に示すように実験IIの準備時間 30 秒の場合，部分過程 $Z_0$ における反応時間はティラピアを使用した実験Iの初期尾数 90 尾，120 尾の場合と比べるとそれぞれ 0.25 倍，0.20 倍であった。実験IIの釣獲率は Table 1-3 に示すように部分過程 $Z_0$ において準備時間 20 秒と 10 秒の場合に低くなる傾向があった。Fig.1-18 に釣り落とされた回数と釣獲率の関係を示す。

魚の行動観察によれば，実験IIでは準備時間の長さによって，漁獲過程の初期に釣針周辺での魚の存在の仕方や遊泳の仕方に違いが見られた。準備時間が長い場合，魚は釣針を下ろすと競合して密集し，活発に泳いだが，釣針を上げるとしばらくして沈静化し分散した。準備時間が 10 秒のように短くなると，魚が密集して活発に泳ぎ回っている中に次々と釣針を下ろすことになった。この場合，魚は浮子やおもりにも喰いつき，また，釣手は落着いて竿釣具を操作できなかったことから，「あわせ」が狂って釣獲率が低下する原因となった。

サクラマスを使用し，釣針の大きさを変えた実験IIIでは，各実験とも魚は活発な摂餌行動を示し，試行回数の増加傾向は Fig.1-12 に示すように 3 号釣針の場合を除いてほとんど同一になり，大きな釣針ほど実験終了時の試行回数が多くなる傾向を示した。漁獲尾数は Fig. 1-13 のようにやはり折線状に増加することがわかった。3 号釣針の場合を除けば，小さい釣針ほど増加が早くなる傾向があった。釣り落とされた回数と反応時間との関係を Fig.1-19 に示し，釣獲率との関係を Fig.1-20 に示す。両図から，反応時間の増加が少ない場合には一度釣り落とされた後の釣獲率が相対的に低い傾向がある。同じサクラマスであるが，Table 1-2 に示すように部分過程 $Z_0$ において，準備時間を 30 秒にして行った実験IIIの各反応時間は同じ準備時間を 30 秒にして行った実

験IIと比較して 2.4～3.2 倍であった。釣獲率は実験IIIの部分過程 $Z_0$ について比較すると Tabel 1-3 のように小さい釣針ほど高くなった。

## 1. 4. 考察

実験結果から経過時間と試行回数および漁獲尾数の関係は，初期尾数が特に少ない 60 尾以下の場合を除き，いずれも折線状に変化することがわかった。このように各部分過程において試行回数と漁獲尾数が直線的に変化することや，実験IIの準備時間 90 秒の場合に部分過程 $Z_0$ が約 150 分間も続いても，試行回数と漁獲尾数が直線的に増加していることから，反応時間と釣獲率は時間経過や尾数の減少によって変化しないことがわかる。

一方，部分過程 $Z_0$ において，各実験結果にモデルを適合させて求めた反応時間と釣獲率についてそれぞれ比較すると，前者は実験魚の魚種や実験を行うまでの飼育環境，後者は準備時間の長さや釣針の大きさというようにモデルで仮定した要因以外のものと関連して異なった。また，各実験の反応時間や釣獲率の変化の傾向はそれぞれ異なるものであった。しかし，これらの条件を一定にして釣を行えば，反応時間と釣獲率は対象魚の内部状態 $G_i$ に依存して，前者は長く，後者は低くなることが明らかになった。

これらのことは本モデルにおいて反応時間と釣獲率が

釣り落とされた回数だけに依存して変わると仮定したことが妥当であることを示す。また，得られた反応時間と釣獲率をモデルにあてはめて求めた試行回数および漁獲尾数の増加傾向は実験結果とよく適合した。したがって，一定の条件で竿釣が行われる場合，本モデルは竿釣の漁獲過程を表すものとして充分適用することができる。

実験Ｉの結果，初期尾数が少ない 60 尾以下の場合には，モデルの適合性は悪く，本モデルを適用することに問題がある。これは対象魚の摂餌行動が不活発であったことが原因と考えられる。初期尾数が少ない場合には摂餌行動が不活発になる現象は，高橋ら[41]が蓄養いけすの空腹な 23 尾のマサバを対象にして行った実験的な竿釣でも観察されている。また，木村[43]は東北海区のカツオ群において小群では摂餌行動が極めて不活発であると報告している。それぞれの環境条件によって摂餌行動の活発さが変わる尾数は異なっているが，このような現象は一般的な魚の特性の１つであると考えられる。したがって，本モデルを適用できる条件として，魚が活発な摂餌行動を起こして釣餌を巡って競合する状態にあることが必要である。

反応時間と釣獲率は魚の行動に依存して変わるが，竿釣具やその操作とも関係する。特に操作の影響は摂餌行動が不活発になって「ひき」が弱くなると現れる。反応時間は釣手が有効な「ひき」を誤認すると変動するもの

である。また，有効な「ひき」の基準によって，「あわせ」のタイミングが変わるので，反応時間の増加傾向に違いを生じる。釣獲率も「ひき」が弱くなって「向こうあわせ」から「あわせ」に変わると，釣手の操作技術に依存して変わるようになる。これらは各実験の反応時間と釣獲率の変化傾向に違いを生じた原因の1つと考えられる。

この他にも反応時間と釣獲率は様々な要因から影響を受けると考えられる。しかし，加入や移出の起こらない限定された空間内の魚群を対象にし，竿釣具やその操作を一定にして行う竿釣では，その魚が釣り落とされた回数と摂餌行動の活発さとの間に強い関係が生じる。そして反応時間と釣獲率は魚の行動に依存する変数として表される。このような場合，竿釣の漁獲過程は部分過程から構成され，初期尾数，反応時間，準備時間，釣獲率によって表される。漁獲尾数の時間的増加は理論的には(1-13)式の極限値に漸近する折線で表される。

本モデルにおいて，魚の内部状態はその魚が釣り落とされたことにだけに依存して推移するものとした。一方，実際の釣の条件では，魚の内部状態として食欲の外に心理的，生理的にいろいろな要素が考えられる。また，魚は釣針の刺激だけでなく，いろいろな外部からの刺激を受けることになる。したがって釣の条件によって，魚の内部状態としてどのような要素を考え，それがどのよう

な外部からの刺激の作用を受け，どのような行動を起させるのかを解析することは，今後の釣の漁獲過程のモデルを展開するために重要な問題である。

魚群を対象にする竿釣として，代表的なものにかつお1本釣やさばはね釣がある。実際の釣では，釣手が複数であり，撒餌や光による集魚も行われる。また，魚群が漁船についたり離れたりして，対象とした魚群に加入や移出が生じることも想定される。本論では魚群を対象にした竿釣を単純化して，撒餌や光による集魚，魚の加入や移出はないものとして解析を行ったので，これらの漁獲過程に本モデルをそのまま適用することはできない。しかし，複数の釣針の相互作用や，魚の内部状態と外部からの刺激と行動との関係を解析することができれば，それが糸口となって，実際の釣の条件に適用できるようにモデルを展開することが可能になるものと考えられる。

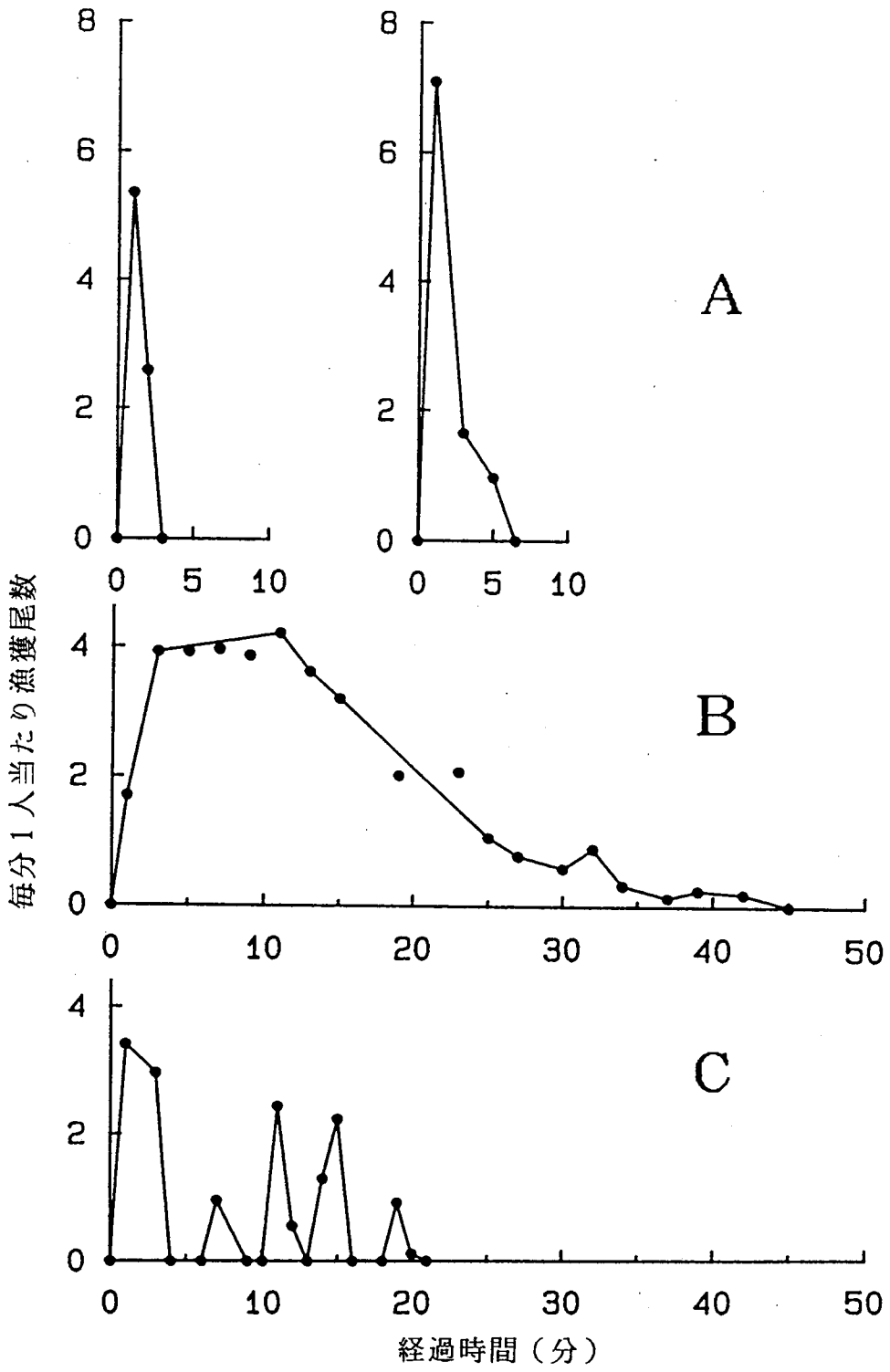



Fig.1-1.　かつお１本釣において観測された釣獲曲線（狩谷ら，1970）．
Ａ：１型．Ｂ：２型．Ｃ：３型．

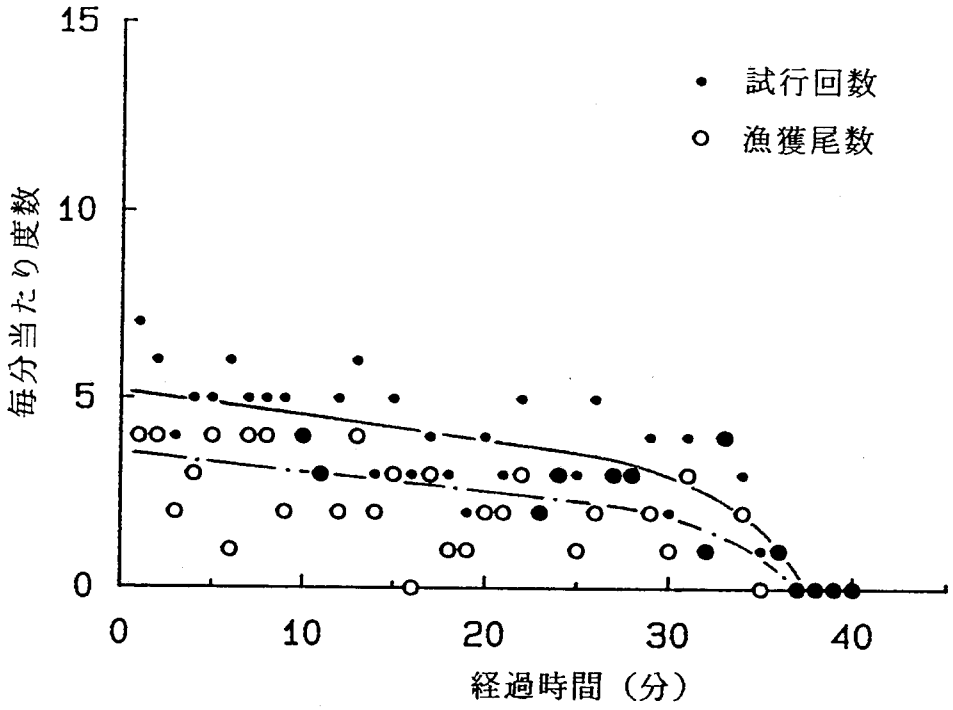



Fig.1-2.　さば釣の実験で得られた 2 人釣における釣獲曲線（高橋ら，1969）.

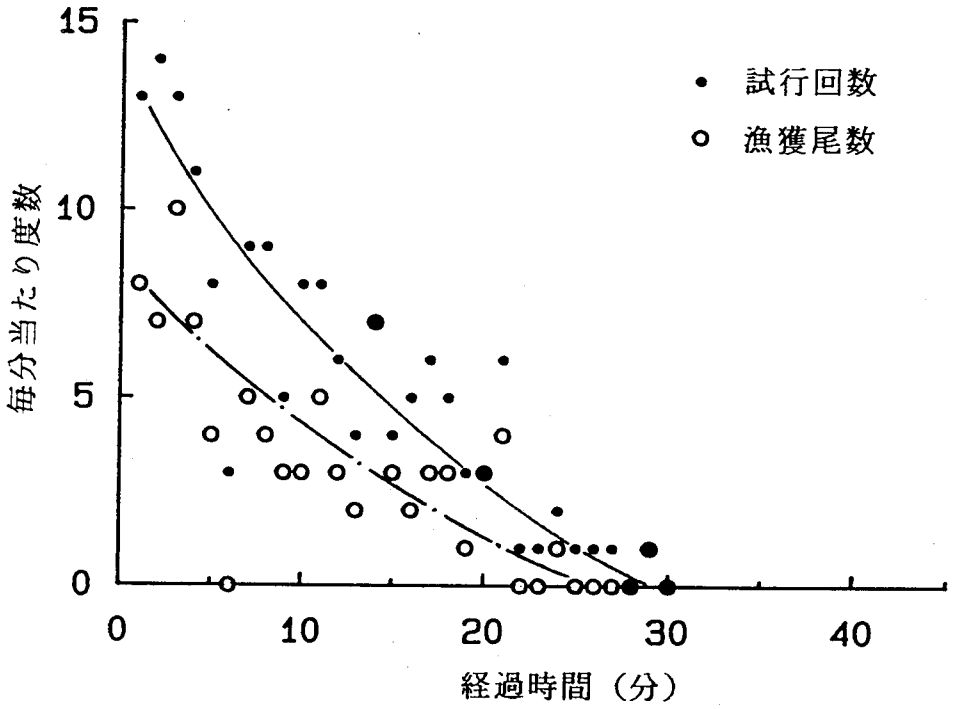



Fig.1-3.　さば釣の実験で得られた 6 人釣における釣獲曲線（高橋ら，1969）.

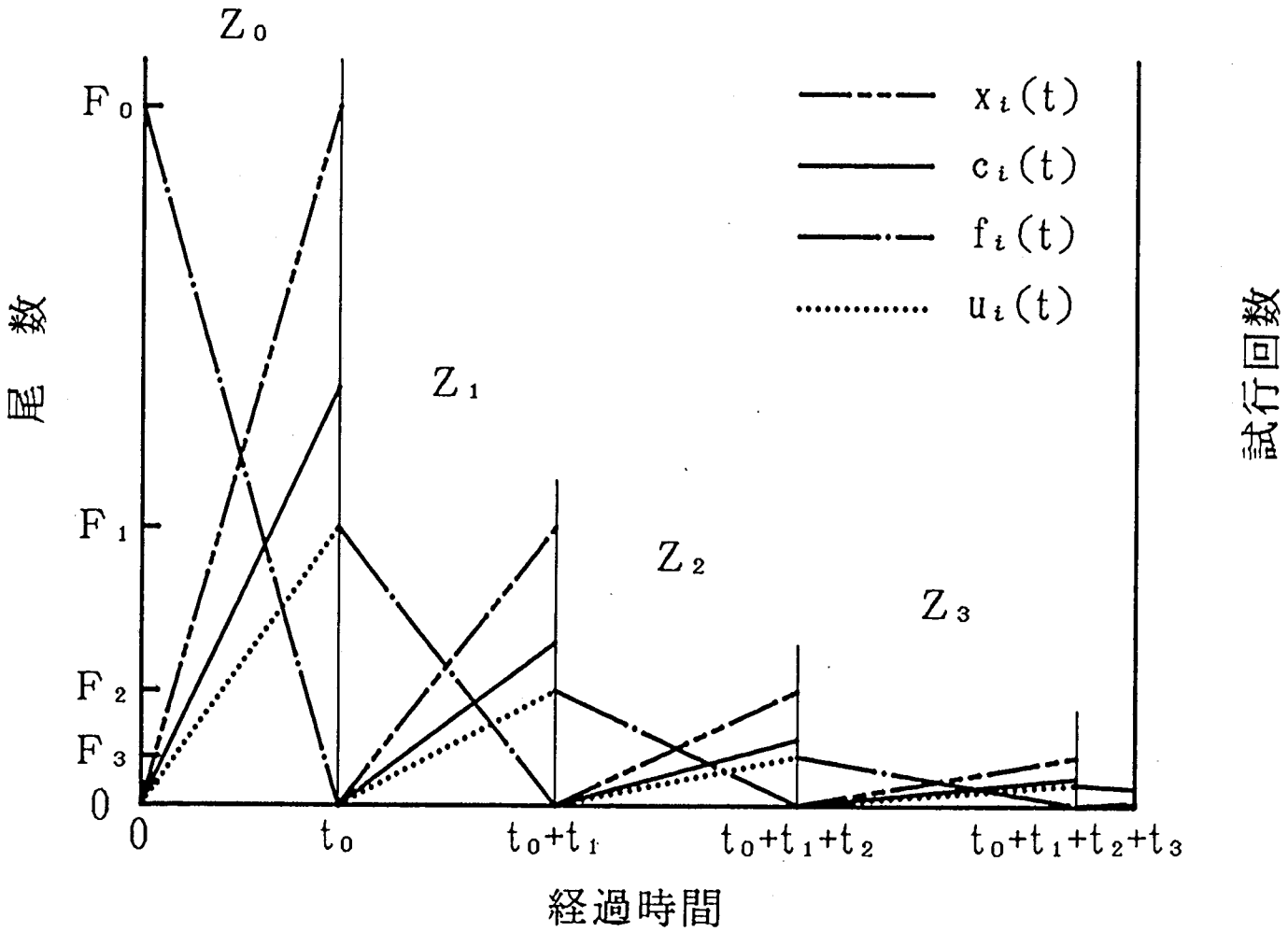



Fig.1-4. 各部分過程における状態変数の変化.

$Z_i$：i 番目の部分過程. t：各部分過程における部分過程の開始からの経過時間. $t_i$：部分過程 $Z_i$ の開始から終了までの経過時間. $x_i(t)$：部分過程 $Z_i$ における試行回数. $c_i(t)$：部分過程 $Z_i$ における漁獲尾数. $f_i(t)$：部分過程 $Z_i$ における対象魚（内部状態 $G_i$）の尾数. $u_i(t)$：部分過程 $Z_i$ における釣り落とされた尾数. $F_0$：初期尾数. $F_i$：部分過程 $Z_i$ における対象魚の初期値.

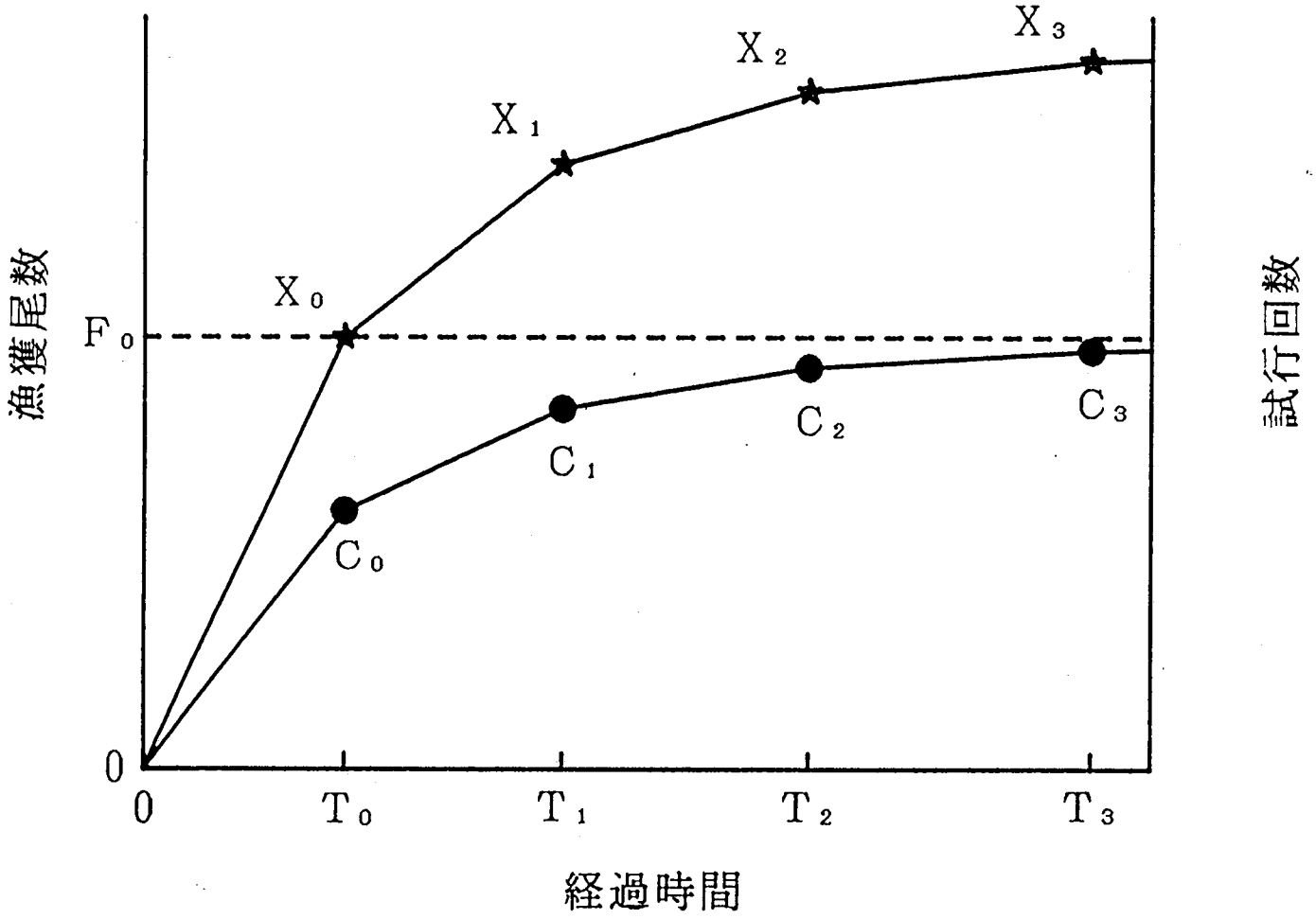



Fig.1-5. 経過時間と試行回数および漁獲尾数の関係.

$T_n$: n 番目の部分過程 $Z_n$ が終了するまでの経過時間. $X_n$: 部分過程 $Z_n$ が終了するまでの試行回数. $C_n$: 部分過程 $Z_n$ が終了するまでの漁獲尾数. $F_0$: 初期尾数.

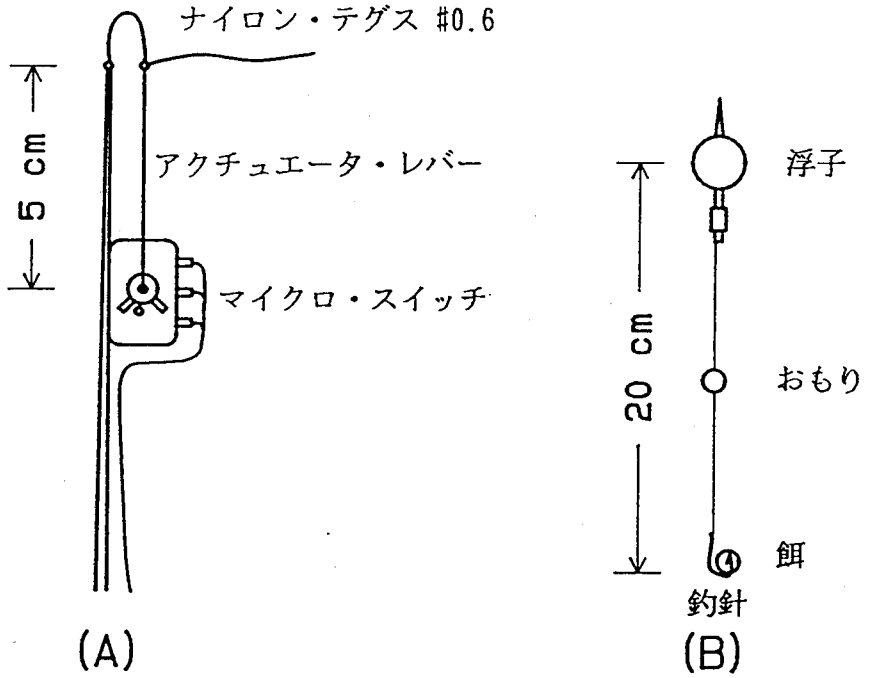



Fig.1-6. 実験で使用した竿釣具.
A：100 cm の竿の先につけたマイクロ・スイッチ. B：仕掛（釣針, おもり, 浮子の配置）.

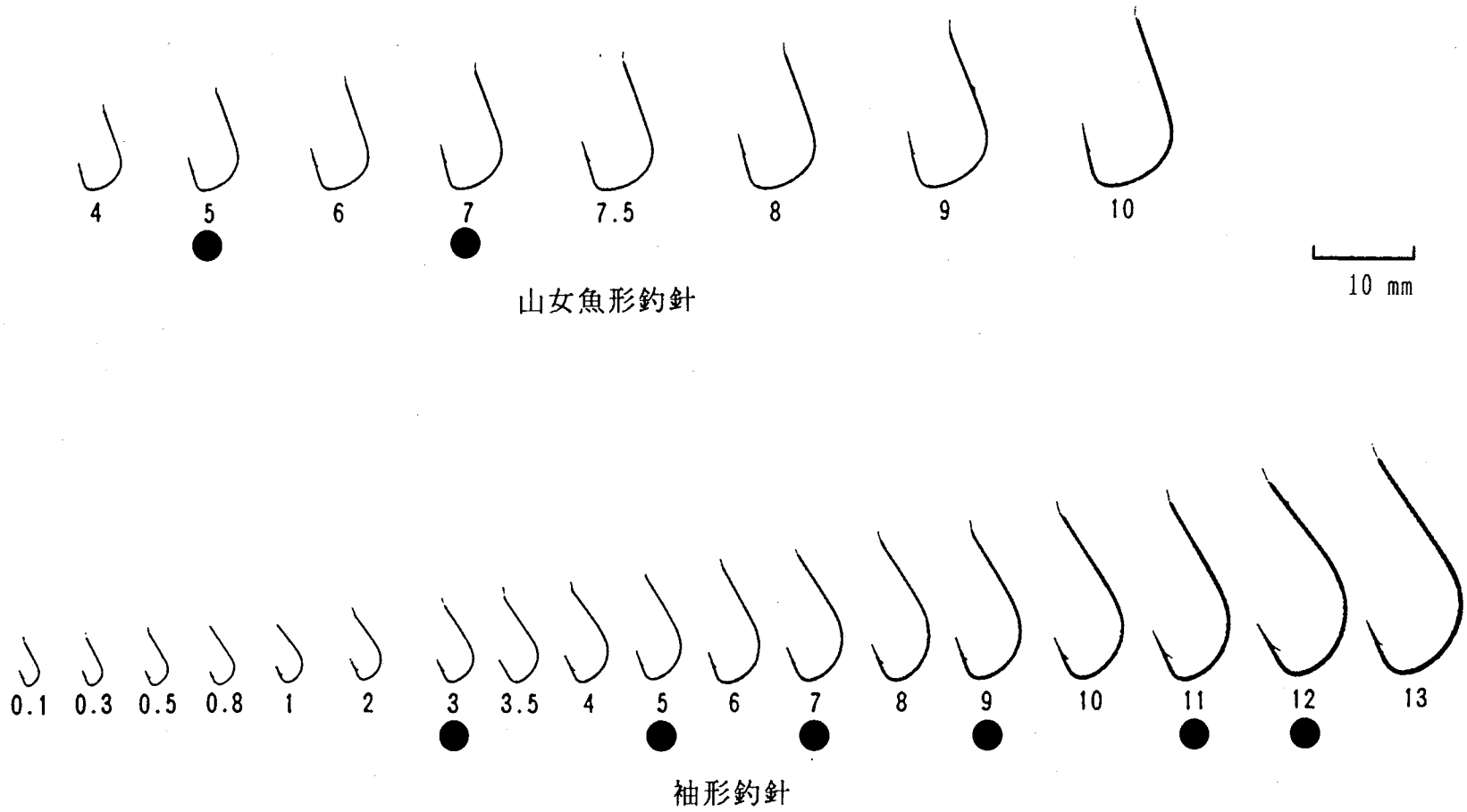



Fig.1-7. 釣針の形状と大きさ.
番号：釣針番号（号）. ●：実験に使用した釣針を示す.

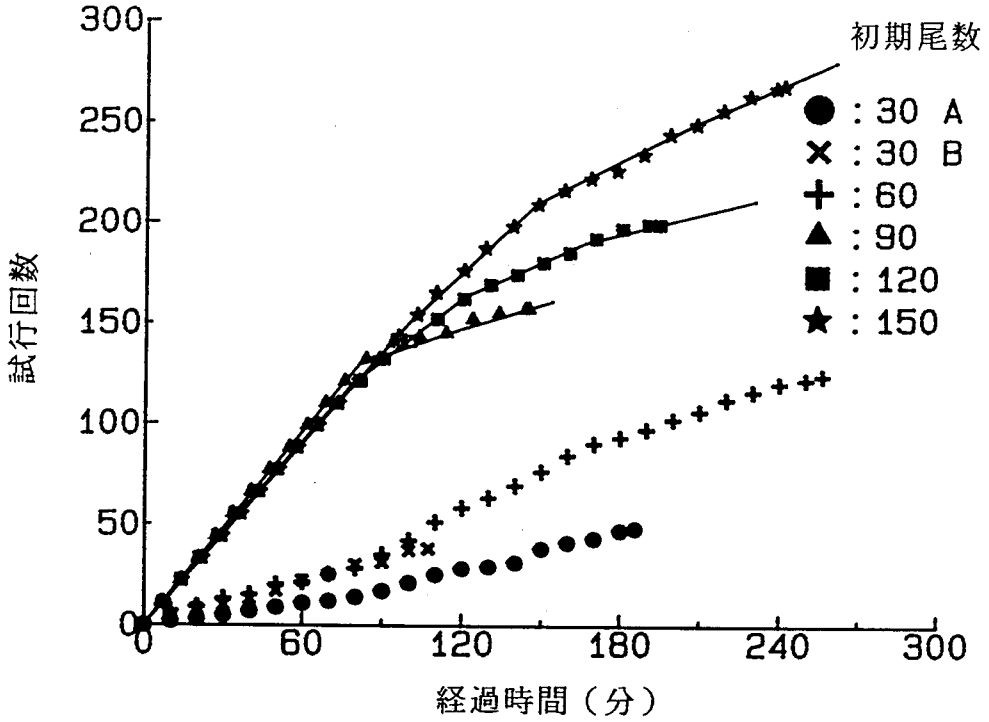



Fig.1-8. 初期尾数を変えた実験Ⅰ（ティラピア）における経過時間と試行回数の関係. 記号：実験値. 実線：計算結果.

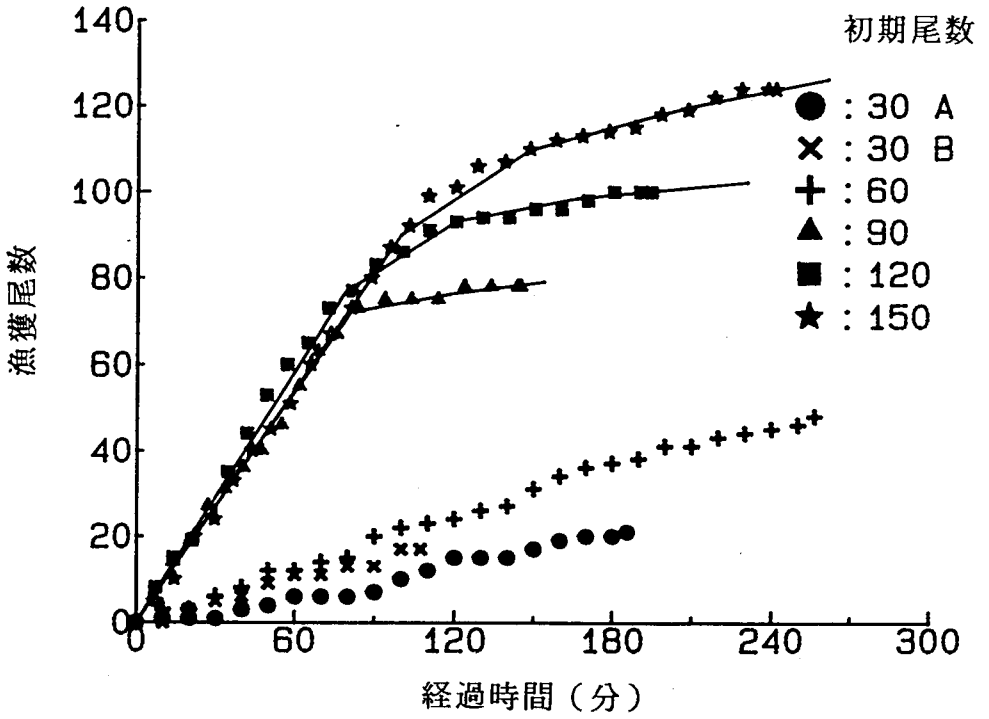



Fig.1-9. 初期尾数を変えた実験Ⅰ（ティラピア）における経過時間と漁獲尾数の関係. 記号：実験値. 実線：計算結果.

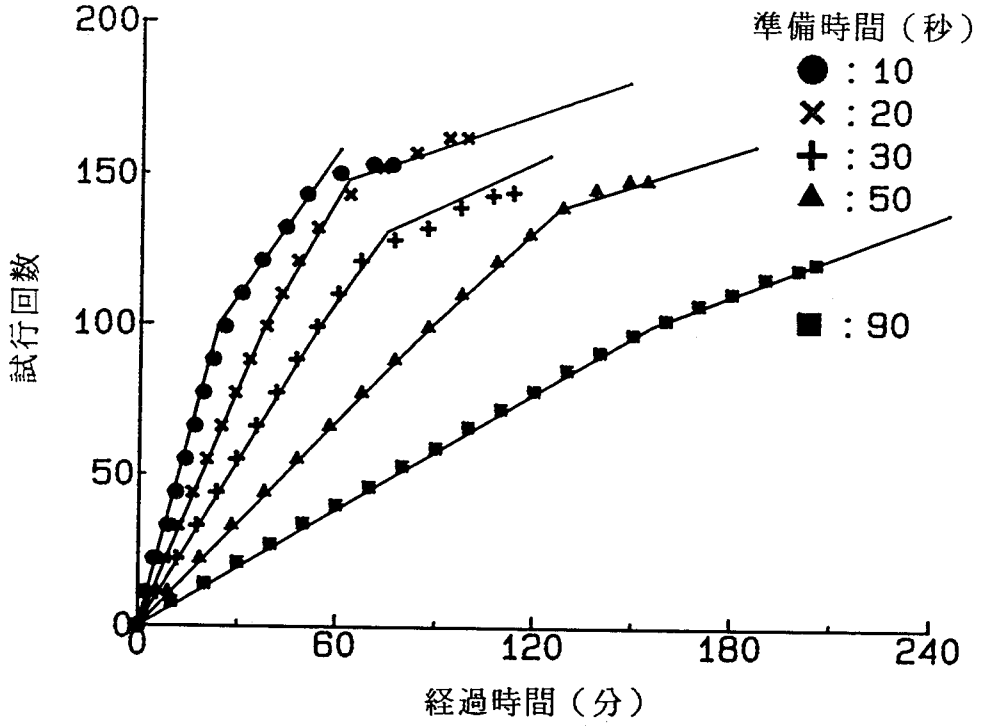



Fig.1-10. 準備時間を変えた実験Ⅱ（サクラマス）における経過時間と試行回数の関係．記号：実験値．実線：計算結果．

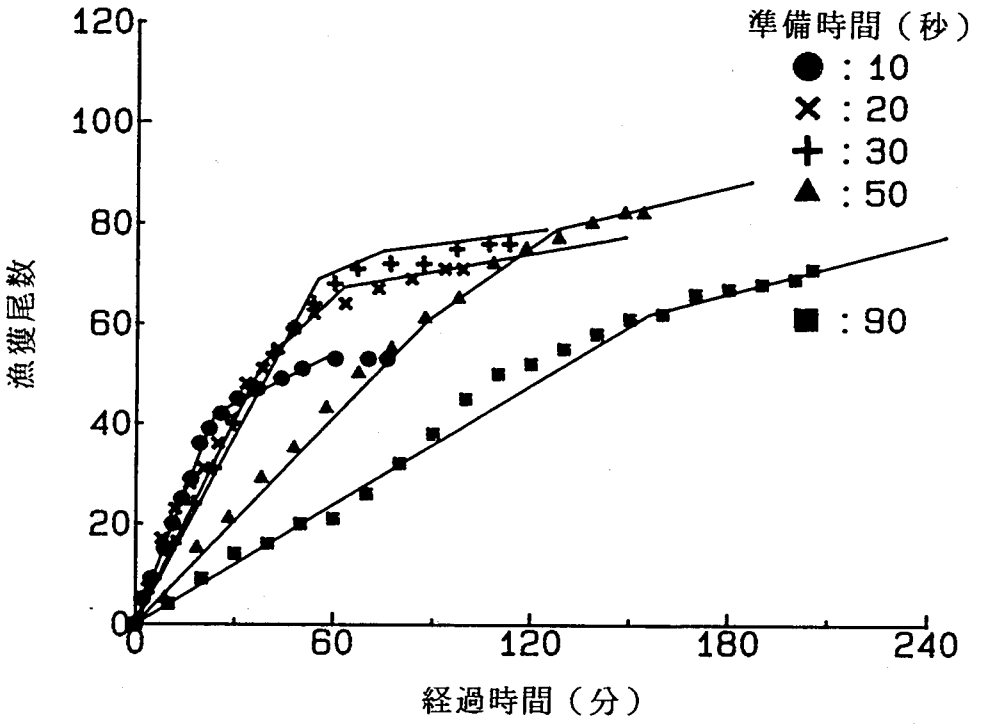



Fig.1-11. 準備時間を変えた実験Ⅱ（サクラマス）における経過時間と漁獲尾数の関係．記号：実験値．実線：計算結果．

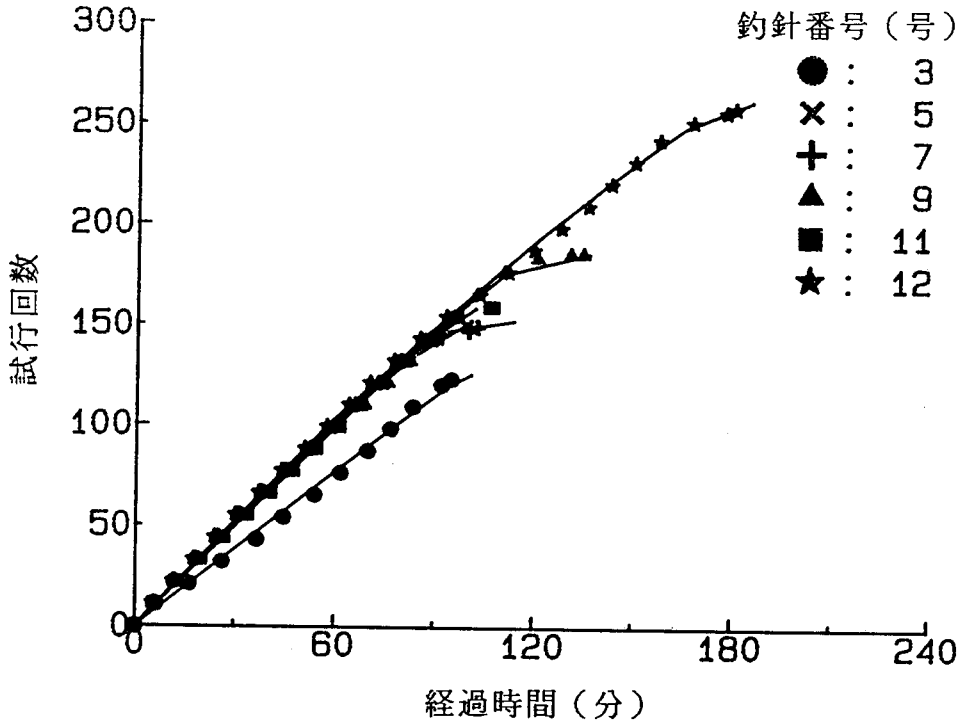



Fig.1-12. 釣針の大きさを変えた実験Ⅲ（サクラマス）における経過時間と試行回数の関係．記号：実験値．実線：計算結果．

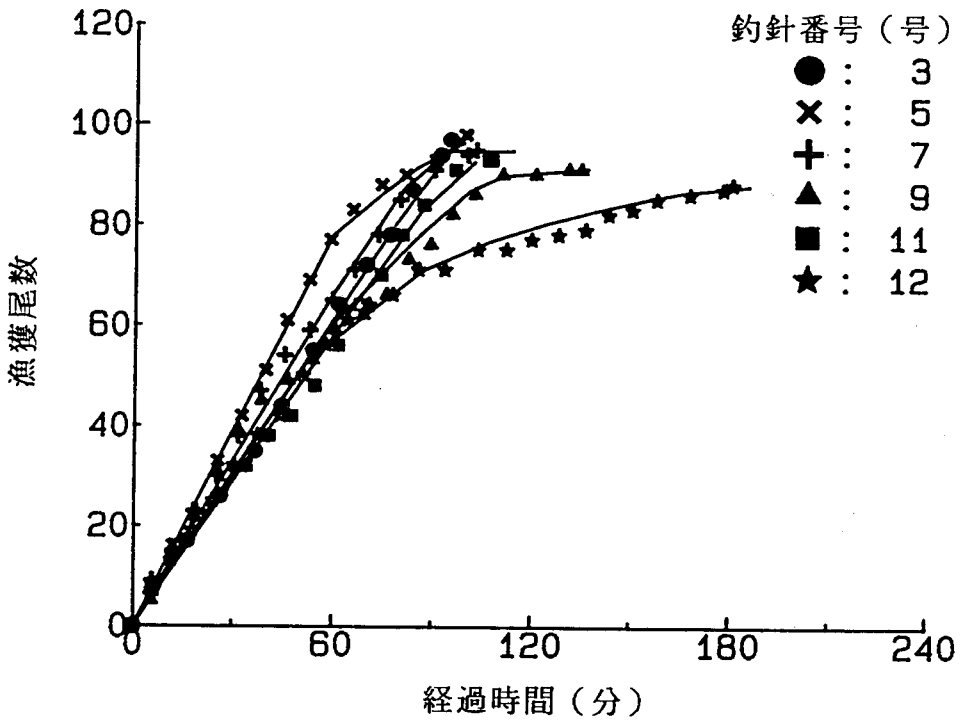



Fig.1-13. 釣針の大きさを変えた実験Ⅲ（サクラマス）における経過時間と漁獲尾数の関係．記号：実験値．実線：計算結果．

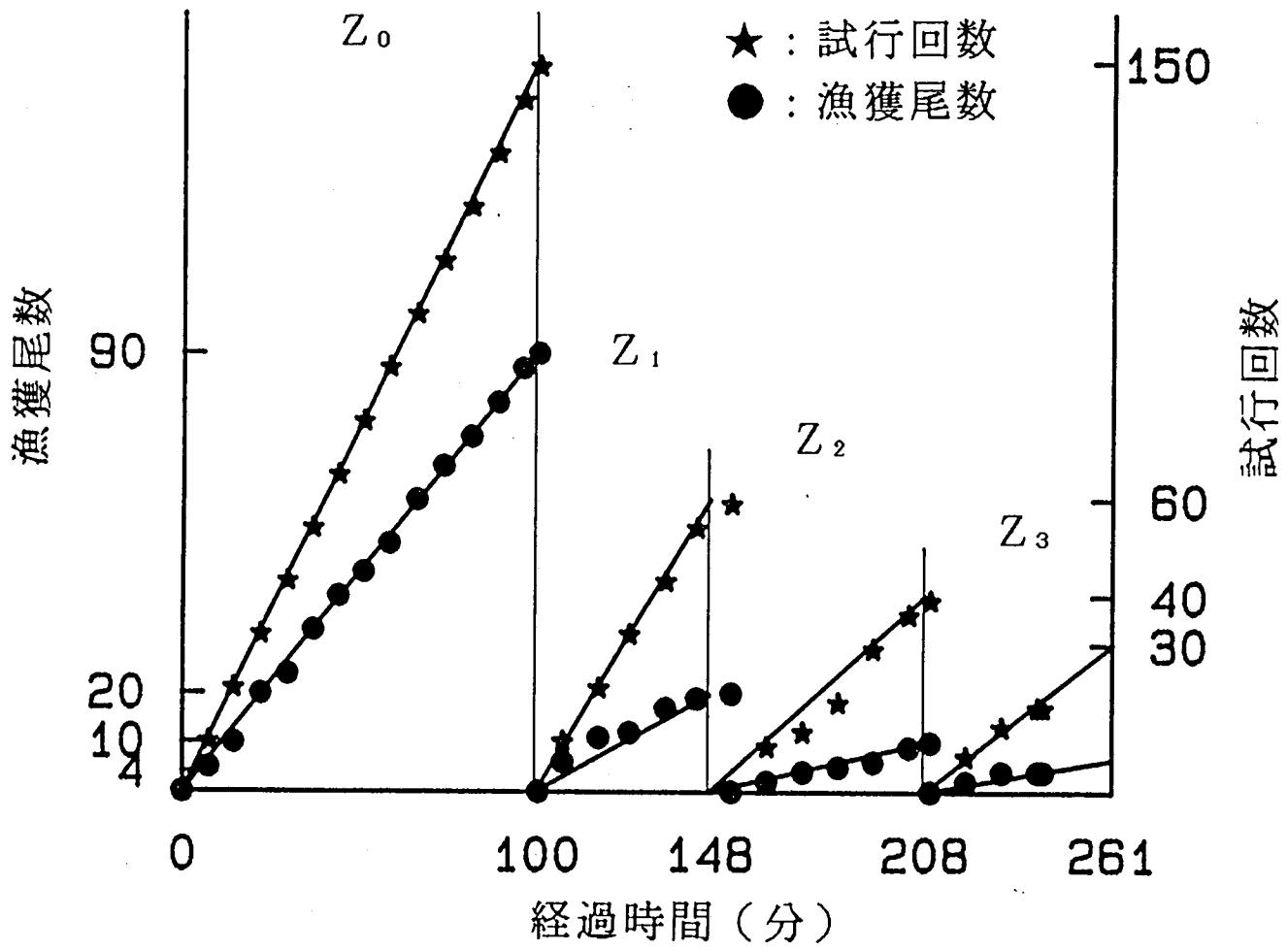



Fig.1-14. 各部分過程においてモデルを適合させた結果の例（実験Ⅰ，初期尾数 150 尾）．記号：実験値．実線：計算結果．

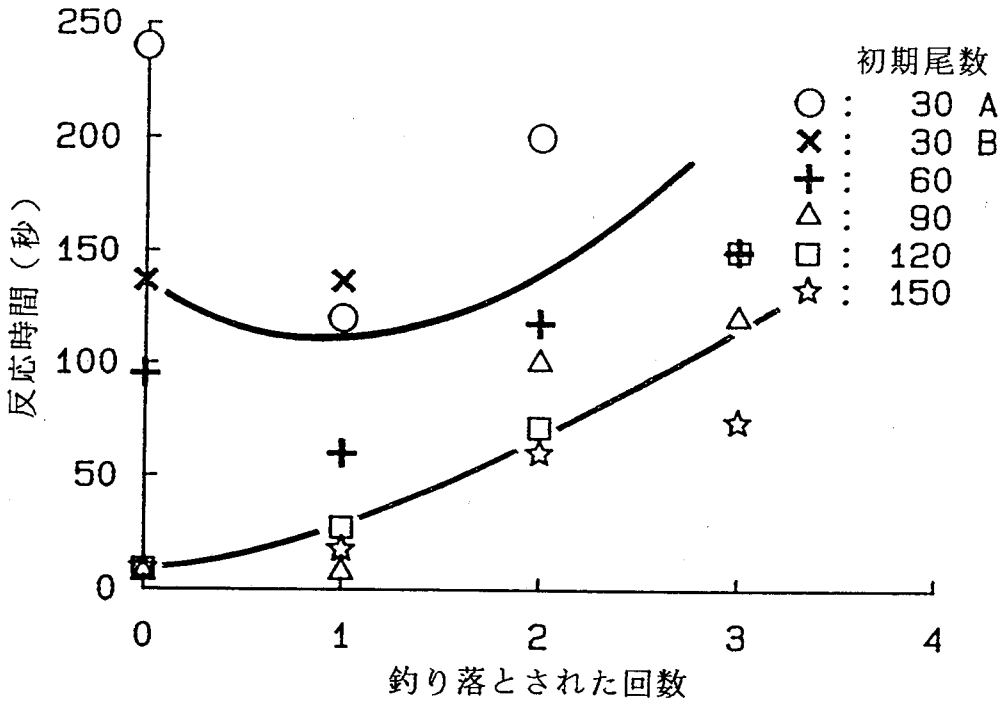



Fig.1-15. 釣り落とされた回数と反応時間の関係（実験Ⅰ，ティラピア）．

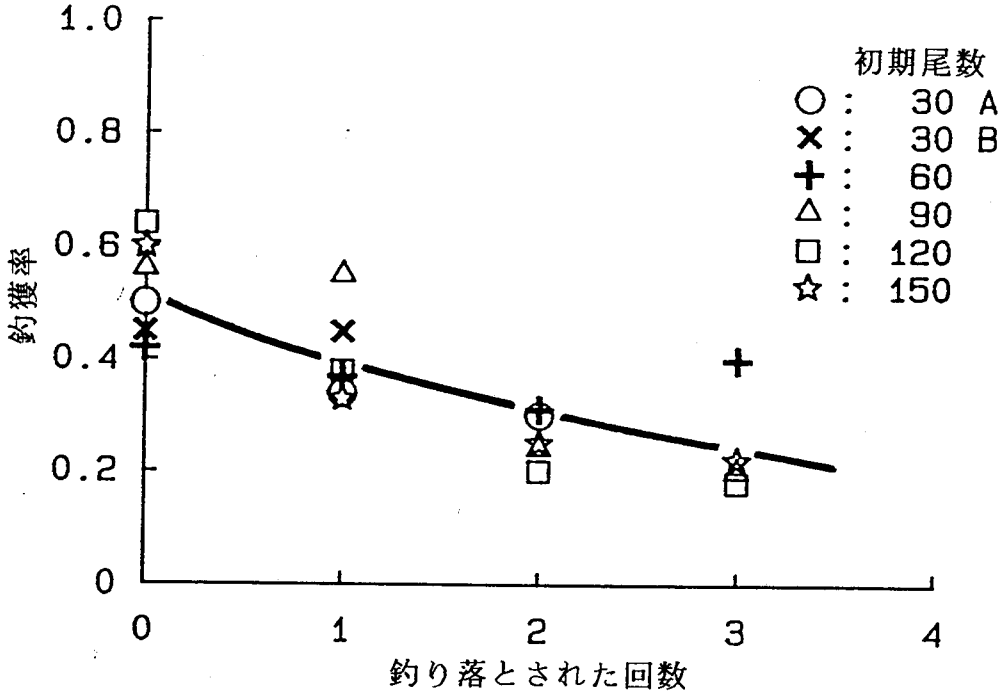



Fig.1-16. 釣り落とされた回数と釣獲率の関係（実験Ⅰ，ティラピア）．

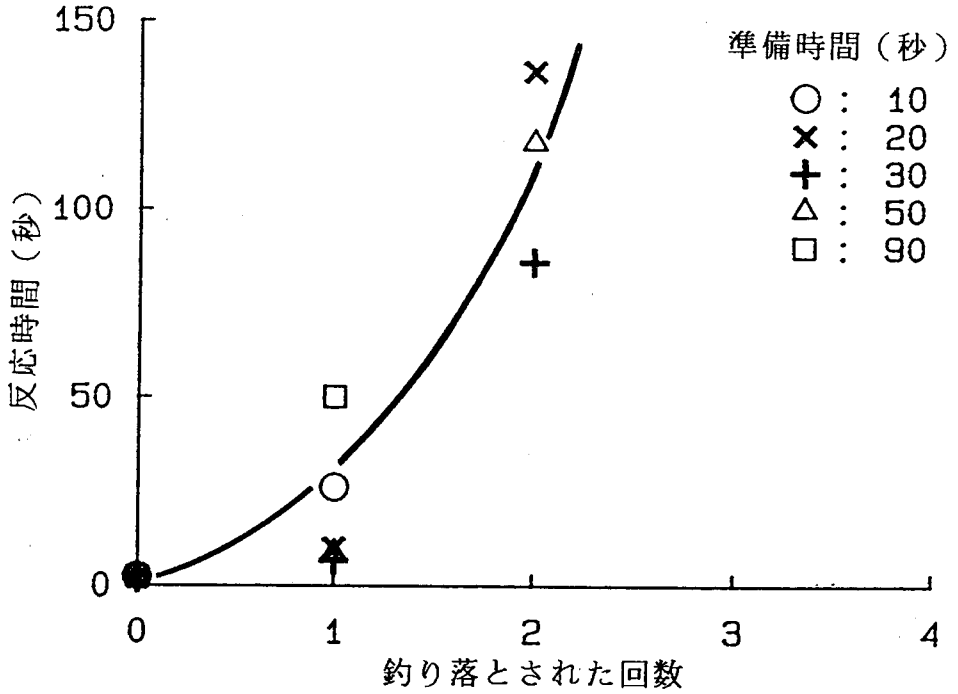



Fig.1-17. 釣り落とされた回数と反応時間の関係（実験II，サクラマス）．

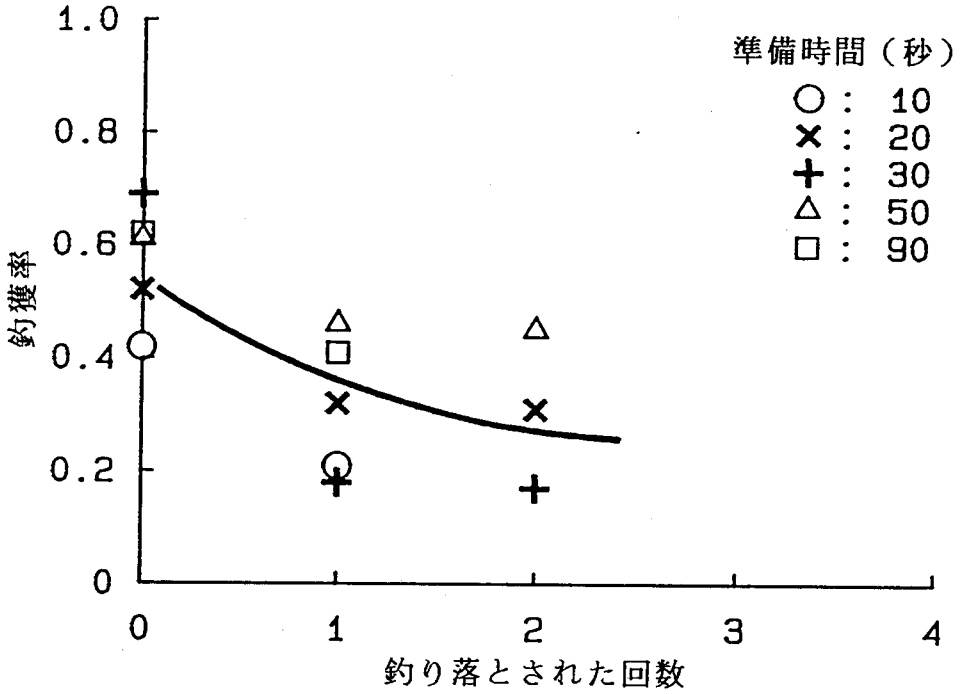



Fig.1-18. 釣り落とされた回数と釣獲率の関係（実験II，サクラマス）．

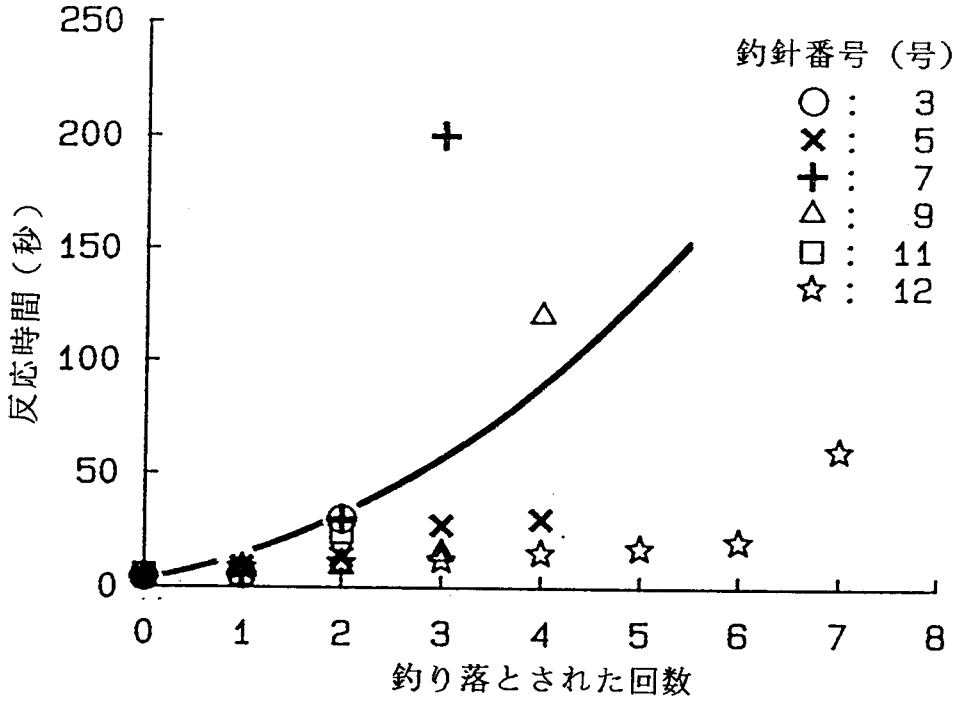



Fig.1-19. 釣り落とされた回数と反応時間の関係（実験Ⅲ，サクラマス）．

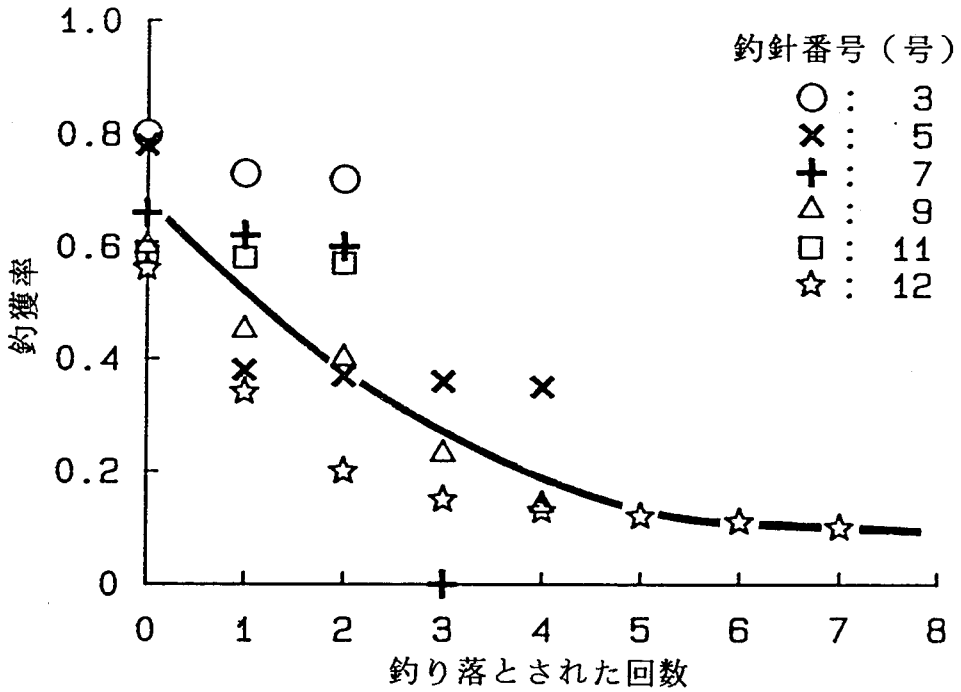



Fig.1-20. 釣り落とされた回数と釣獲率の関係（実験Ⅲ，サクラマス）．

Table 1-1. 各実験の条件

| 実験の種類 | 実験 I | 実験 II | 実験III |
|---|---|---|---|
| 初期尾数 | 30*1,60,90,120,150 | 100 | 100 |
| 準備時間*2(秒) | 30 | 10,20,30,50,90 | 30 |
| 釣針の種類<br>(がまかつ社製) | 山女魚形 | 山女魚形 | 袖形 |
| 釣針番号*3(号) | 5 | 7 | 3,5,7,9,11,12 |
| 魚種 | *Tilapia mossambica* | *Oncorhynchus masou* | *Oncorhynchus masou* |
| 平均全長 (mm) | 70 | 109 | 126 |
| 標準偏差 (mm) | --- | 10 | 10 |
| 給餌量<br>(g/100尾/日) | 2.5 | 3.3 | 30 |
| 水温 (°C) | 20 | 20 | 14 |

*1 30 尾の実験については同じ条件で２回行った。

*2 準備時間は釣針を水中から引き上げてから再び水中に入れるまでの時間間隔である。

*3 釣針番号は日本の番号法に従って釣針の大きさを表す。

Table 1-2. 部分過程 $Z_i$ における反応時間(秒)

| 部分過程 | | $Z_0$ | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ | $Z_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 初期尾数 | | | | | | | | | |
| | 30 A | 240.0 | 120.0 | 200.0 | | | | | |
| | 30 B | 136.4 | 136.4 | | | | | | |
| 実験 I | 60 | 95.2 | 60.0 | 117.6 | 150.0 | | | | |
| | 90 | 6.8 | 7.5 | 100.0 | 120.0 | | | | |
| | 120 | 8.7 | 27.3 | 71.4 | 150.0 | | | | |
| | 150 | 9.2 | 17.6 | 60.0 | 74.1 | | | | |
| 準備時間(秒) | | | | | | | | | |
| | 10 | 2.6 | 26.1 | | | | | | |
| 実験 II | 20 | 1.8 | 10.0 | 136.4 | | | | | |
| | 30 | 1.7 | 6.7 | 85.7 | | | | | |
| | 50 | 2.0 | 8.6 | 117.6 | | | | | |
| | 90 | 2.3 | 50.0 | | | | | | |
| 釣針番号(号) | | | | | | | | | |
| | 3 | 4.3 | 5.5 | 30.0 | | | | | |
| | 5 | 4.6 | 9.2 | 13.3 | 27.3 | 30.0 | | | |
| 実験 III | 7 | 4.6 | 6.0 | 30.0 | 200.0 | | | | |
| | 9 | 4.3 | 8.6 | 9.2 | 15.0 | 120.0 | | | |
| | 11 | 5.5 | 5.7 | 24.0 | | | | | |
| | 12 | 4.0 | 8.6 | 10.9 | 12.0 | 15.0 | 17.1 | 20.0 | 60.0 |

Table 1-3. 部分過程 $Z_i$ における釣獲率

| 部分過程 | | $Z_0$ | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ | $Z_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 初期尾数 | | | | | | | | |
| | 30 A | 0.50 | 0.34 | 0.30 | | | | | |
| | 30 B | 0.45 | 0.45 | | | | | | |
| 実験 I | 60 | 0.42 | 0.37 | 0.31 | 0.40 | | | | |
| | 90 | 0.56 | 0.55 | 0.24 | 0.20 | | | | |
| | 120 | 0.64 | 0.38 | 0.20 | 0.18 | | | | |
| | 150 | 0.60 | 0.33 | 0.25 | 0.22 | | | | |
| | 準備時間(秒) | | | | | | | | |
| | 10 | 0.42 | 0.21 | | | | | | |
| 実験 II | 20 | 0.52 | 0.32 | 0.31 | | | | | |
| | 30 | 0.69 | 0.18 | 0.17 | | | | | |
| | 50 | 0.61 | 0.46 | 0.45 | | | | | |
| | 90 | 0.62 | 0.41 | | | | | | |
| | 釣針番号(号) | | | | | | | | |
| | 3 | 0.80 | 0.73 | 0.72 | | | | | |
| | 5 | 0.78 | 0.38 | 0.37 | 0.36 | 0.35 | | | |
| 実験 III | 7 | 0.66 | 0.62 | 0.60 | 0.00 | | | | |
| | 9 | 0.60 | 0.45 | 0.40 | 0.23 | 0.14 | | | |
| | 11 | 0.59 | 0.58 | 0.57 | | | | | |
| | 12 | 0.56 | 0.34 | 0.20 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |

Table 1-4. 測定した準備時間の統計値

| | | 測定回数 | | 平均*1 | 標準偏差*1 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <P.T.+10 秒*2 | ≧P.T.+10 秒*3 | (秒) | (秒) |
| | 初期尾数 | | | | |
| | 30 A | 47 | 1 | 30.9 | 0.5 |
| | 30 B | 34 | 4 | 31.0 | 0.3 |
| 実験 I | 60 | 117 | 7 | 30.9 | 1.2 |
| | 90 | 152 | 4 | 30.5 | 1.4 |
| | 120 | 195 | 3 | 30.7 | 1.1 |
| | 150 | 263 | 4 | 30.6 | 0.7 |
| | 準備時間(秒) | | | | |
| | 10 | 148 | 4 | 11.7 | 1.1 |
| 実験 II | 20 | 159 | 2 | 21.1 | 0.4 |
| | 30 | 143 | 0 | 31.4 | 0.6 |
| | 50 | 147 | 0 | 51.2 | 0.2 |
| | 90 | 121 | 0 | 91.2 | 0.2 |
| | 釣針番号(号) | | | | |
| | 3 | 98 | 25 | 31.4(42.8)*4 | 1.3 |
| | 5 | 146 | 4 | 31.3 | 0.9 |
| 実験 III | 7 | 147 | 2 | 31.2 | 1.2 |
| | 9 | 183 | 2 | 31.3 | 0.6 |
| | 11 | 156 | 3 | 31.2 | 0.9 |
| | 12 | 255 | 3 | 30.8 | 0.8 |

*1 この値は設定した準備時間に 10 秒加えた値より小さい測定値から計算された。

*2 測定した準備時間が設定した準備時間(P.T.)に 10 秒加えた値より短かった測定回数。

*3 測定した準備時間が設定した準備時間(P.T.)に 10 秒加えた値と等しいか，より長かった測定回数。

*4 この値は全ての測定値から計算された。

## 2. 釣針に対する魚の行動

本章では，釣針が魚の口の中に針がかりする要因を明らかにするために，魚が釣針に喰いつく行動を観察し解析することにした。魚の行動をよく観察できるように水槽内の魚を対象にした。魚が釣針に喰いつき，そして口の中に取り込んだ釣針から逃れるときの行動を解析するとともに，釣針が魚の口腔内に針がかりしていた位置などについても調べた。

### 2. 1. 釣針が魚に針がかりする要因

釣針が魚の口の中にひっかかるためには，魚が喰いついて釣針を口の中に取り込むことが必要である。このため，まず第一に，魚の摂餌行動に依存する。また，喰いついたときに釣針が魚の口の中に入るかどうかは，魚の口や釣針や釣餌の大きさや形状に大きく影響されると考えられる。一方，釣針が口の中に針がかりするかどうかは同様に魚の口や釣針や釣餌の大きさ形状と関係するものと考えられる。

一般に釣針は対象とする魚の種類や大きさによって，さまざまな大きさ，形状のものが使用されている。釣針の形状は魚の口の形，釣針に喰いつくときの魚の習性，使用する餌，使い良さなどから長年の経験を基にして決められている。代表的な釣針の型，[44] および釣針の部分

名称[45]を示したのがFig.2-1である。袖形釣針は角型に属する汎用の釣針であるとした。

釣針が魚の口腔に針がかりする要因は多種多様であり，複雑な現象である。そこで本章では1章の実験Ⅲの結果，釣針の大きさを変えると釣獲率に差が生じることがわかっているので，まず，針がかりの要因として釣針の大きさに着目することにした。Fig.2-1 C 図に示すように本研究では釣針の大きさを示すために，「さきまげ」から「さき」の部分を針先とし，この高さを先高さ，針先に対しての最大幅を幅と定義した。

## 2．2．材料と方法

釣獲現象を考える場合には，竿釣具類や手釣具類のように釣手が「あわせ」を行う場合と延縄釣具類で代表されるように魚が釣針をくわえて引張る，いわゆる「向こうあわせ」の2つの状況が考えられる。そこでこの2つの「あわせ」を想定して2通りの実験を行った。実験は「あわせ」を行うときに相当するものとして釣糸を固定した場合と，「向こうあわせ」のときには強い張力が働かずにある程度自由に釣針が動くものとして，釣糸に浮子をつけた場合について行った。観測したときの条件を整理してTable 2-1に示す。実験に使用した装置の概要を示したものがFig.2-2である。釣糸の終端を固定した場合には，張力計（UT-100-120，新興通信工業製）を水

槽上部に取り付け，そこから釣糸を下げて魚の引きの強さも計測するようにした。

釣獲時における魚の口の動きや釣針の動きをよく観察するために，水槽内に鏡を設置し，側面からテレビカメラを介して観測した。水槽内の鏡とテレビカメラの配置関係は Fig.2-2 に示すようにした。魚の動き，釣針の動きを鮮明にとらえるためにためシャッター速度を 1000 分の 1 秒としてビデオ録画した。観測時には 250 W のビデオ用ハロゲンランプを 2 灯使用し，上部より照明した。このときの照度は大きさ 256 cm × 116 cm × 70 cm の実験水槽の中央部水面で約 1500 lx であった。水深は 40 cm，水温は 15 °C であった。

釣針には 1 章と同じように汎用の釣針で大きさの種類が最も豊富な袖形を選び，2 号釣針と 12 号釣針を使用した。また，釣針の大きさとハリス（ナイロンテグス）の太さは一般に使用されている標準的なの組合せとし，2 号釣針にはハリス 0.4 号，12 号釣針ではハリス 2 号をつけた。釣餌には水に溶けることなく，柔らかいものとして，養鱒稚魚用配合飼料を強力小麦粉と 3:2 の割合で混ぜて蒸し，直径約 4 mm に丸めて用いた。これを針先がでないように釣針につけた。

実験に用いた魚は配合飼料を与えられ約 20 カ月間実験水槽と同じ飼育水槽で飼育していた全長 14～19 cm の池産サクラマスである。他の魚が撮影の邪魔にならず，

30 分間程度は実験を継続できるように，実験水槽には魚を 20 尾入れた。1 本の釣針を水深 20 cm に下ろして，魚が喰いついても，魚が釣針を吐き出して逃げるままにした。しかし，10 秒間待ってもかかった釣針を外せない魚や，ひどくあばれまわる魚は他の魚の行動に影響しないように釣り上げた。釣り上げた魚は別の水槽に移した。餌を取られた場合にはつけなおし，魚が喰いついて来なくなるまで同様の実験を繰り返した。魚の動きや釣針の動きは録画した画像を 60 分の 1 秒ごとに読み取り解析した。

次に，漁獲魚の針がかりの位置を調べるため，釣針の大きさを変えて，漁獲実験を行った。実験方法は 1 章で行った実験と同じである。実験した条件を Table 2-2 に示す。実験は室内において 1 日に 1 回行った。

実験魚には釣られた経験のない魚を大量に必要である。そこで，手軽に入手できる養殖魚の中から，行動の機敏なサクラマスを選び実験した。実験に用いたサクラマスは全長 130～145 mm のもので，実験水槽と同じ飼育水槽で約 3 カ月間養鱒稚魚用配合飼料を与えて慣らしたものである。実験開始時点において魚が同一の状態であるように，実験日の 1 週間前から配合飼料を日常の 3 分の 1 程度にし，100 尾当り 30 g を 1 日 1 回与えた。また，魚が活発な摂餌行動を起すように水槽内に放す尾数を 100 尾にした。

実験に使用した竿釣具は1章と同じものである。1mの竿先にはマイクロ・スイッチを取付けた。パーソナル・コンピュータを使用してスイッチの入・切をモニタし，釣針を下ろした時刻と上げた時刻を自動的に記録した。同時に，入力した漁獲の有無を記録し，所定の準備時間の経過後，釣針を下ろす合図の音を発するようにした。使用した釣針は行動観察にも使用した袖形釣針である。Fig.1-7に示す0.3，0.8，2，3，5，9，13号の釣針を用いた。釣餌には上記の配合飼料を体積3:2の比率に強力小麦粉と混ぜて蒸したものを直径4mmに丸めて使用した。この餌を釣針の「さき」がでないように針先につけた。

1章で行った実験と同様に，実験前日に容積500lの飼育水槽から水深40cmにしてエアレーションを行った大きさ256cm×116cm×70cmの実験水槽に実験魚を入れた。水槽の内部はどちらも青色である。当日，実験開始4～5時間前に実験水槽を暗幕で囲い，110Wの白色蛍光灯2灯により水槽中央部水面で明るさ500lxに照明した。釣手は同じ人が担当し，釣漁具の操作が異ならないように注意した。また，準備時間を一定にするため，信号音に従って60cmほど開けた暗幕の隙間から釣針を水槽中央部に下ろした。「あわせ」のタイミングを浮子の先端が水没する瞬間とし，一気に引き上げた。浮子の先端まで沈まない「ひき」は無効とした。そして，

釣上げた魚を逐次別の飼育槽に移した。

100 尾のサクラマスを対象にして竿釣を行ったので，100 試行目までに釣れた魚を漁獲魚とした。これは竿釣の漁獲過程では部分過程が変わると釣獲率が変わるためである。「スレがかり」で漁獲した尾数は対象とした尾数から除外した。漁獲した魚について口腔内の針がかりの位置をスケッチにより記録した。また，口腔より奥の食道などに針がかりしている場合を呑込みとして記録した。

## 2. 3. 結果

水槽内を自由に遊泳している魚が釣針に喰いついてから，漁獲されたり，釣針から外れて逃れたりするときの行動について観察し整理したところおおよそ次のような行動様式が見られた。実験中，サクラマスは常に自由に遊泳しており，釣針をおろすやいなや飛びついてきた。釣針に対する喰いつき方はおもに口を開いて一気に呑込もうとする filter feeding 方式であった。釣針が口の中に入ると，もどすような口の動きをし，大きく口を開いて釣針を口から出そうとした。また，体を強く湾曲させたりして釣針を振り払うような行動をした。これらの行動を Fernö[46] ら，井上[47]，李[48] を参考に分類し，Table 2-3 に示す。

filter feeding 方式で 2 号釣針を口に入れたときの

典型的な一連の行動連鎖を示したものが Fig.2-3 である。図中には同時に釣糸に加わった張力の様子をグラフに示した。図の写真 4 や 6 のように 2 号釣針では多くの場合，喰いついた後，魚は口を閉じ，鰓蓋を大きく開いて喉につかえたものを吐き出そうとしているような「もどし」行動をし，口を大きく開け閉めするうちに写真 7，8 のように釣針を口から出してその場を泳ぎ去った。釣糸に加わった張力を魚の「ひき」の強さとし，魚が釣針に喰いついてから，その釣針を口から出すまでの間に記録された張力の瞬間最大値を最大張力と定義し整理した。これらの行動の間に釣糸に加わった最大張力は10 gw であった。同様に 2 号釣針に喰いついた後，振りを行って針がかりした釣針を外す場合の行動を Fig.2-4に示す。「もどし」は行わず，写真 2 と 3 の間で針がかりし，写真 3～4 で大きく口を開き，「振り」を行って針がかりを外している。これらの行動の間に得られた張力の最大値は15 gw であった。2 号釣針に喰いついた魚が釣り上げられるまでの行動連鎖を表したものが Fig.2-5 である。釣針を口にいれて閉じるまでは他の場合と同じ行動をとる。写真 2 で大きく口を開けて釣針がでてきたが，写真 3 のように吻端付近で針がかりした。写真 4 以降では「ひねり」や「振り」を行ったが釣針を外すことができなかった。この場合，測定された最大張力は 25 gw であり，釣り上げた魚の全長は 18.5 cm で

あった。

魚が 12 号釣針に喰いついた場合の行動を Fig.2-6 に示す。写真 2 のように，12 号釣針は小さな 2 号釣針のように完全に口腔内に入ってしまうことはなく，口を閉じたときに釣針の「くき」を確認することができる。写真 3 で口蓋部に針がかりしていることがわかる。魚は大きく口を開けただけでは釣針を出すことができないので，写真 3～4 や写真 6～7 のように「ひねり」を行う。測定された張力の最大値はこれまでの例に比べ小さく 4 gw であった。針がかりした釣針を外そうとするが，なかなか外れなくて，次第に力強く「ひねり」や「振り」の行動を起していく例を示したのが Fig.2-7 である。写真 3 で大きく口を開けるが釣針が外れないので，写真 4 以降で「ひねり」，「振り」を釣針が外れるまで繰り返した。測定した張力は次第に大きくなり，動きの激しい行動になっていくことを示している。最大張力は 47 gw であった。

時間が経過して何度か釣針に喰いつく行動を行った後では，釣針にゆっくりと接近するようになった。これは 1 章の実験でも見られた行動の変化と同様である。この場合，喰いつき方は 2 号と 12 号釣針のどちらも同じであり，釣餌の位置でほとんど停止して唇で餌を挟み，少しずつ口の中に入れる行動を示した。また，このときの引きは非常に弱く，口の中に入れた釣針をしばらくして

吐き出し，泳ぎ去った。

かかった釣針が外れなくなり釣り上げた尾数は，「あわせ」を想定した実験において 2 号釣針の場合には釣針に喰いついた回数の約 10 % であったが，12 号釣針の場合には起こらなかった。「向こうあわせ」を想定した実験では，どちらの釣針も喰いついた回数の約 10 % であった。魚を釣り上げた場合，測定された「ひき」の最大張力は 2 号釣針において全長 165 mm の魚では最小で 9 gw，全長 200 mm の魚では 69 gw と最大であった。この張力は全実験の中で最大であった。12 号釣針では釣り上げた例はないが最大張力は 48 gw であった。

釣針の魚の口の中への入りやすさを知る手がかりを得るため，釣針に喰いつくときの口の開きの状態と口を閉じたときに口の中に入っている釣針の部位の出現度数の比較を釣針の大きさ別，「あわせ」の別に表したものが Fig.2-8～Fig.2-11 である。口の開きの状態を 3 段階の開口度として表し，Fig.2-3 の写真 7 の口の開きを全開とし，全開の 2 分の 1 を半開，4 分の 1 を 4 分の 1 開とした。口の中に入っている釣針の部位は，釣針全体，針先，全く入らない場合を入らないとし，大きく 3 つに分けて整理した。図中の幅の広い大きなヒストグラムで口の中に入っている釣針の部位の相対度数を表し，その中の細いヒストグラムはその時の開口度の内訳を示す。

「あわせ」を想定した実験において，2 号釣針では

Fig.2-8 に示すように，魚が釣針に喰いつくとほとんどの場合に釣針全体が口の中に入った。また，開口度が4分の1開であっても釣針全体が入っていた。12 号釣針の場合には Fig.2-9 に示すように開口度が全開であっても釣針が完全に口の中に入ることはなかった。しかし，針先だけであれば，開口度が4分の1開であっても口の中に入った。「向こうあわせ」を想定した実験でも，「あわせ」を想定した実験と同様な結果であった。2 号釣針では Fig.2-10 に示すように主に釣針全体が口の中に入り，12 号釣針では Fig.2-11 に示すように大部分のものは針先だけが入った。

口の中に入った釣針が針がかりすれば，魚は大きな物理的刺激から動きの激しい行動を起すことが知られている。[48] そこで，釣針の大きさ別に釣針を口から出すときの行動と口の開口度の関係を Fig.2-12 と Fig.2-13 に示す。釣針を口から出そうとする行動は，「ひねり」，「振り」と「吐き出し」であるが，ここでは「ひねり」と「振り」を動きの激しい行動としてまとめて整理した。

「あわせ」を想定した実験では Fig.2-12 に示すように，2 号釣針では「ひねり」，「振り」と「吐き出し」の場合があり，若干「吐き出し」が多くみられる。12 号釣針では主に「ひねり」，「振り」によって釣針を出した。どちらの場合も口を全開にするのがほとんどであった。「向こうあわせ」を想定した実験の場合も，Fig.

2-13 に示すように，2 号釣針では「吐き出し」が若干多くみられ，12 号釣針ではほとんどの場合に「ひねり」，「振り」を行って釣針を外す同じ傾向が見られた。

魚が釣針に喰いつき，口の中に釣針が入っている時間を録画したビデオ画像からフィールドの数を測定し，この時間の分布を求め，「あわせ」を想定した場合と「向こうあわせ」の場合とに分けて整理し示したのが Fig. 2-14 と Fig.2-15 である。曲線はあてはめた指数分布を表す。釣針が口の中に入っている時間の分布は概ね指数分布のような傾向である。「あわせ」を想定した場合には，Fig.2-14 に示すように，2 秒以上口の中にある相対度数は 2 号釣針と 12 号釣針とでは差はない。しかし，3 秒間以上では差が認められ，2 号釣針は 12 号釣針に比較し頻度が若干高くなる。「向こうあわせ」の場合は Fig.2-15 に示すように，2 号釣針は 2 秒以上口の中にある頻度が 0.45 であり，12 号釣針の 0.25 と比較して高くなる。釣の方式の異なる「あわせ」と「向こうあわせ」では，同じ 2 号釣針でも後者の方が長い時間釣針を口の中に入れている頻度が高い。しかし，大きな 12 号釣針では，時間分布にほとんど差が認められない。

漁獲実験によって漁獲された魚の中で口腔内に針がかりしていた魚の相対度数および呑込みの魚の相対度数を整理して求め，釣針の幅に対する魚の全長の比率を F 値とし，F 値との関係を求め示したのが Fig.2-16 であ

る。F 値が大きくなると，次第に呑込みが増加する傾向を示す。すなわち，魚の大きさに比較して釣針の大きさが小さくなると呑込みが増加することがわかる。

次に漁獲された魚について，釣針の大きさ別に口腔内に針がかりしていた位置を整理し，Fig.2-17～Fig.2-23に示す。針がかりの位置は下顎の場合が多くても 10 例程度であり，ほとんどの場合に上顎であった。下顎の針がかり位置もその座標を基にして上顎に投影した。使用した釣針の中で最も小さい 0.3 号の釣針では，Fig. 2-17 のように針がかりの位置は唇の内側に沿うように分布した。0.8 号釣針では Fig.2-18 に示すようにほぼ同様な分布が見られた。しかし，釣針が 2 号から 9 号と釣針が大きくなるにつれて，針がかりの位置は唇から離れて口腔背面全体に広がる傾向を示した。また，袖形釣針の中で最も大きい 13 号釣針では，Fig.2-23 に示すように両眼の間周辺に集まって分布することが認められた。

## 2. 4. 考察

釣針に喰いついた魚に釣針がかかり，漁獲されるまで過程を魚の行動連鎖として整理し示したものが Fig. 2-24 である。実験に使用したサクラマスは，大きさの異なる 2 号，12 号釣針に対して，ほとんどの場合に filter feeding によって釣針を口の中に取り込んだ。この段階までは釣針の大きさが異なっても行動に差は生じ

ないと考えられる。しかし，魚の行動は取り込んだ釣針が口腔内を進み奥に入って行った度合によって異なってくる。大きな釣針では呑込みは生じないが，小さな釣針では漁獲された魚の呑込みの割合が増えることから，小さな釣針ほど口腔の奥に入りやすく食道にまで達していると考えられる。

釣針が口腔より奥の食道に達したと推測されるとき，魚は「もどし」の後に，「吐き出し」を行う。ここで釣針が吐き出される場合と出てこない場合が生じる。釣針が出てこないとき，魚は「もどし」と「吐き出し」を繰り返し行って，釣針を出そうとする。この段階で「ひねり」や「振り」の行動を起こす場合がある。この行動は明らかに針がかりしたために生じたものと考えられる。1回の「振り」や「ひねり」で釣針が外れない場合には，魚はさらに強く「振り」や「ひねり」を起し，釣針が外れるまで，この行動を繰り返す。この段階で釣針が外れなければ，魚は漁獲されることになる。

一方，大きな釣針のように口腔の奥にまで入らない場合には，まず，魚は「吐き出し」を繰り返す。そして，針がかりすると魚は「ひねり」や「振り」の行動を起す。釣針が外れない場合には，さらに強い「ひねり」や「振り」の行動を行うようになる。このような行動をしても釣針を外すことができない魚は漁獲される。

このような魚の行動連鎖から，口の中に取り込まれた

釣針の動きを推測すると，次のように整理される。釣針は口腔の奥へ向かって移動し口腔のある位置で止まる。この段階ではまだ針がかりしていないと考えられる。釣針を取り込んだ魚は釣針を異物として吐き出そうとするので，任意の位置で止まった釣針は次に口腔の外に向かって移動し始める。この釣針の外に向かう移動は，魚が自ら行って吐き出す場合，「あわせ」によって引き出される場合，また，魚が泳ぐことによって釣糸が引かれるために生じる「向こうあわせ」の場合がある。釣針はこの段階で針がかりすると考えられる。針がかりしなければ釣針は口の外に出される。針がかりすることによって，魚に物理的刺激が加えられると，魚は「ひねり」や「振り」の行動を起こす。釣糸に張力が強く働くので，釣針が外れる場合とさらに深く釣針が口腔に刺さり，確実に針がかりする場合が生じる。

したがって，釣針に喰いついた魚が漁獲されるかどうかは，釣針の口の中への入りやすさ，針がかりのしやすさ，かかった針の外れ難さの３つの要因が関係するものと考えられる。

釣針の入りやすさには，魚の口や釣針や餌の大きさや形状，餌の喰いつき方やその時の遊泳速度など魚の摂餌行動が関係する。針がかりのしやすさも魚の口や釣針や餌の大きさや形状，餌の喰いつき方やその時の遊泳速度など魚の摂餌行動に依存する。釣針の外れ難さには釣針

の刺さりやすさや刺さり方，刺さった部位の魚の組織の強さ，魚の引きの強さなどが関係するものと考えられる。

魚に対する釣針の相対的な大きさはこれら３つの要因に深く関係し，小さい釣針は明らかに大きい釣針より口の中に入りやすいが，針がかりし難く，かかった針は外れにくいことがわかった。大きな釣針では確実に針がかりするためには大きな張力が必要である。大きな釣針が外れやすいのは小さな魚では引きの弱いので，釣針が深く刺さることがないためであろう。

したがって，釣手がうまく「あわせ」を行うことが，12 号釣針では強い張力を加えて針がかりを確実なものに進める働きをしているものと考えられる。また，2 号釣針では食道などに入った釣針の針がかりを確実にするものと考えられる。

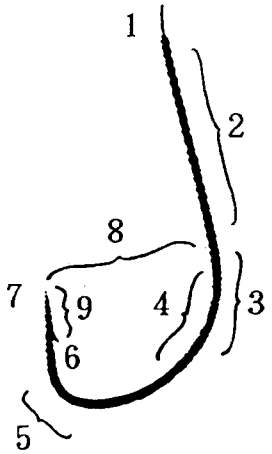
一般に釣針が大きくなると比例的にハリスも太くなる。ハリスは小さな 2 号釣針の場合に 0.4 号であり，12 号釣針の場合には 2 号である。口の中に入るときの釣針の動きを見ると，12 号の場合にはハリスが曲がらないので，魚が喰いついたときに釣針は押されて平行移動するだけであった。2 号釣針の場合にはハリスが柔軟に曲がり，魚の口が釣針に比較して充分に大きいので，釣針は吸い込まれるように口の中に入った。これらのことから，釣針が魚の口の中に入りやすいかどうかは，ハリスの柔軟性にも関係することがわかる。

長型釣針
（白狐形 10 号）

角型釣針
（袖形 10 号）

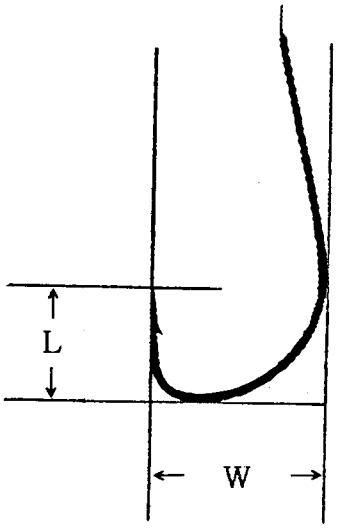
丸型釣針
（伊勢尼形 10 号）

A




1：かえし,しり
2：くき,どう
3：こし,大まがり,大まげ
4：わん,ど
5：さきまげ
6：あぐ
7：さき
8：ふところ
9：あぐさき

B




W：幅
L：先高さ

C

Fig.2-1. 代表的な釣針の型，部分名称と測定部位.
A：釣針の型. B：部分名称. C：測定部位.

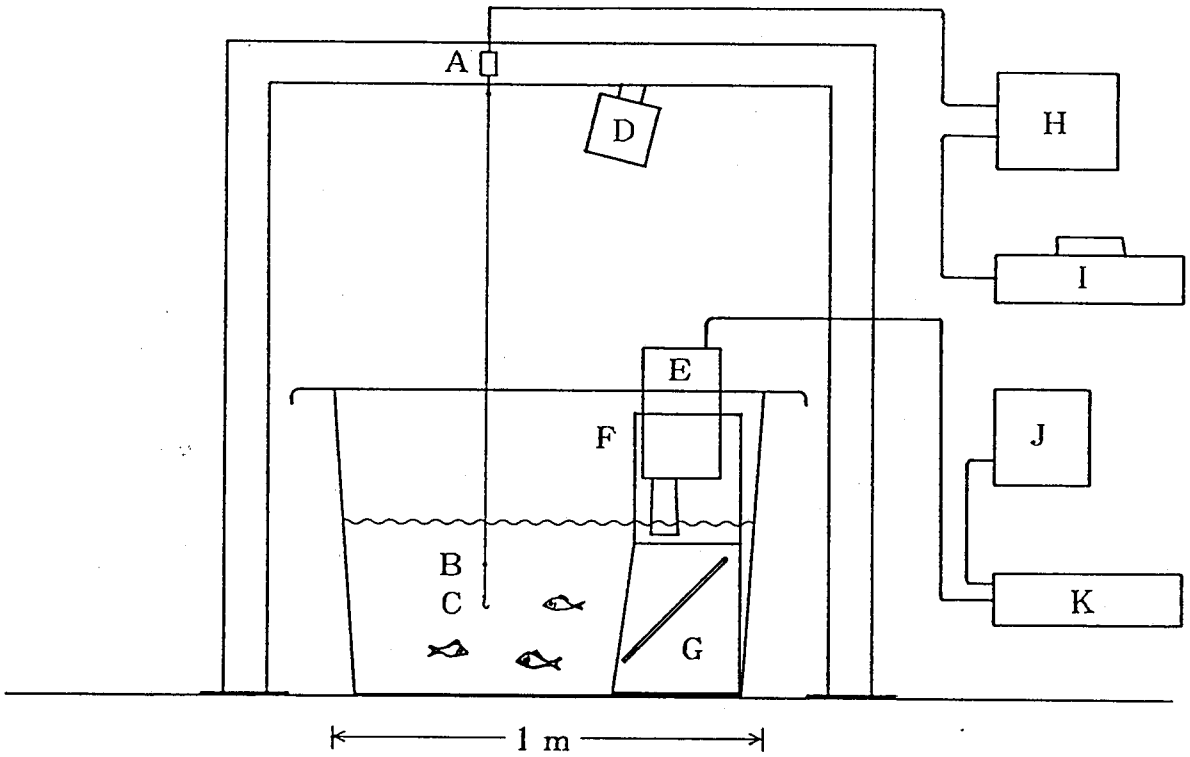
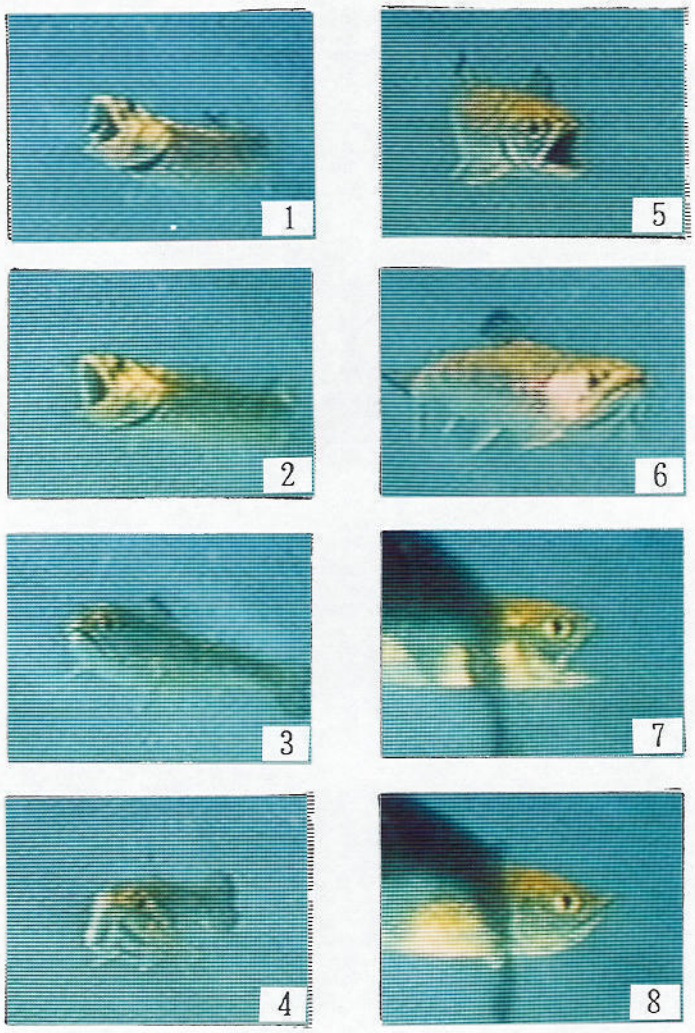
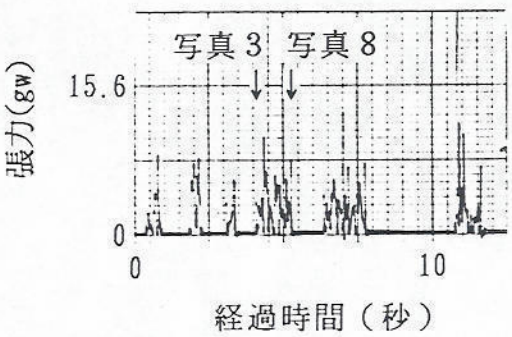



Fig.2-2.　実験装置の概要.

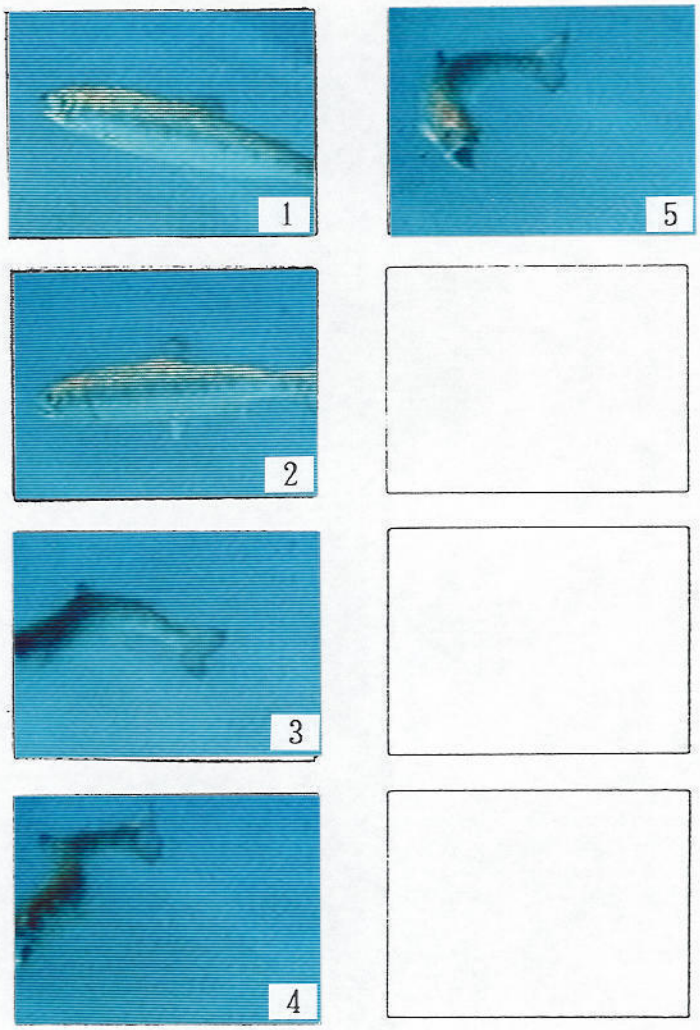
A：張力計. B：おもり. C：釣針. D：ハロゲンランプ.
E：テレビカメラ. F：カメラケース. G：鏡. H：動歪計.
I：記録計. J：モニタテレビ. K：ビデオレコーダ.

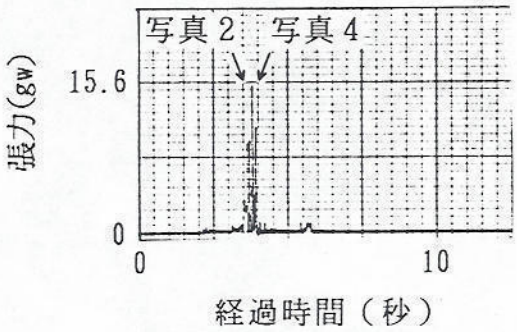



A

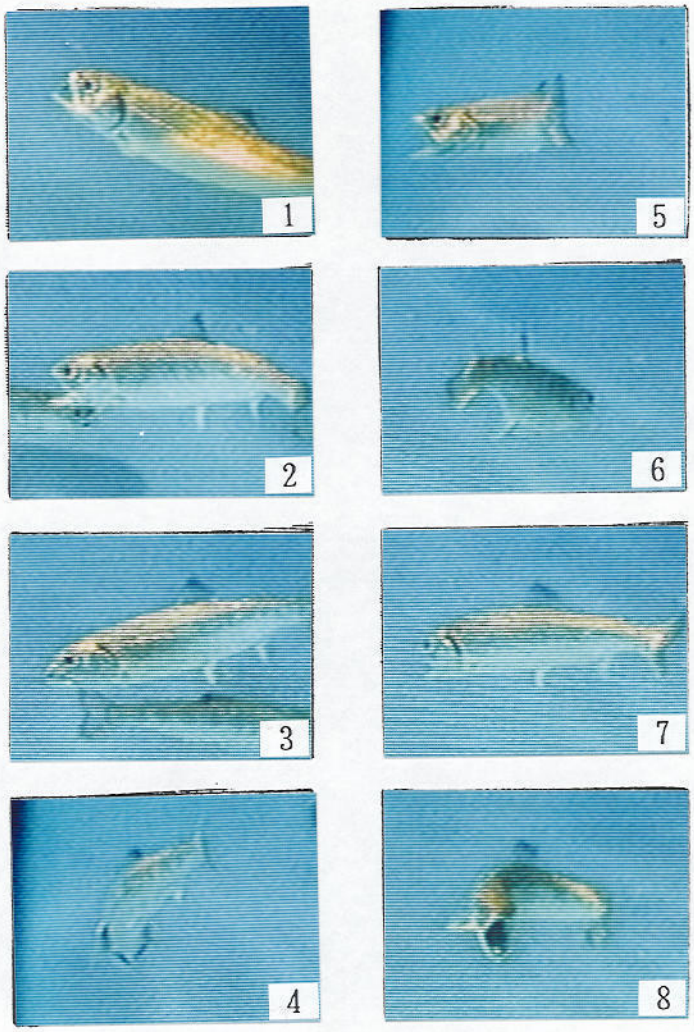
Fig.2-3. 2 号釣針に喰いついた魚の行動連鎖（写真 1 ～ 写真 8）と釣糸に加わった張力の変化（A）．写真 4 と写真 6 で「もどし」を行い，写真 8 で釣針を吐き出した例.

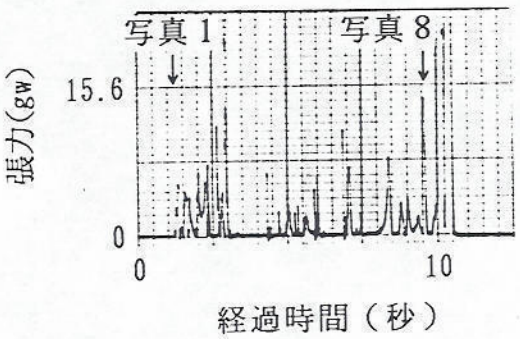



A

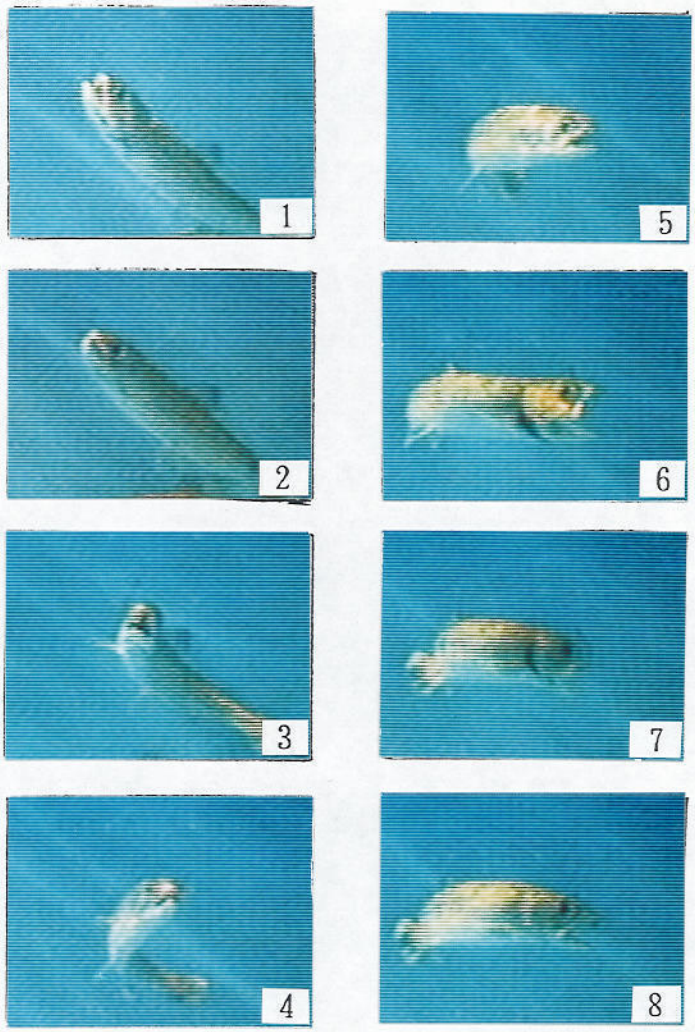
Fig.2-4. 2 号釣針に喰いついた魚の行動連鎖（写真 1 ～ 写真 5）と釣糸に加わった張力の変化（A）．写真 4 と写真 5 の間に「振り」によって針がかりをはずした例.

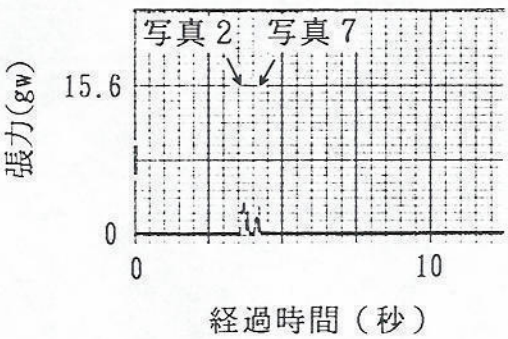



A

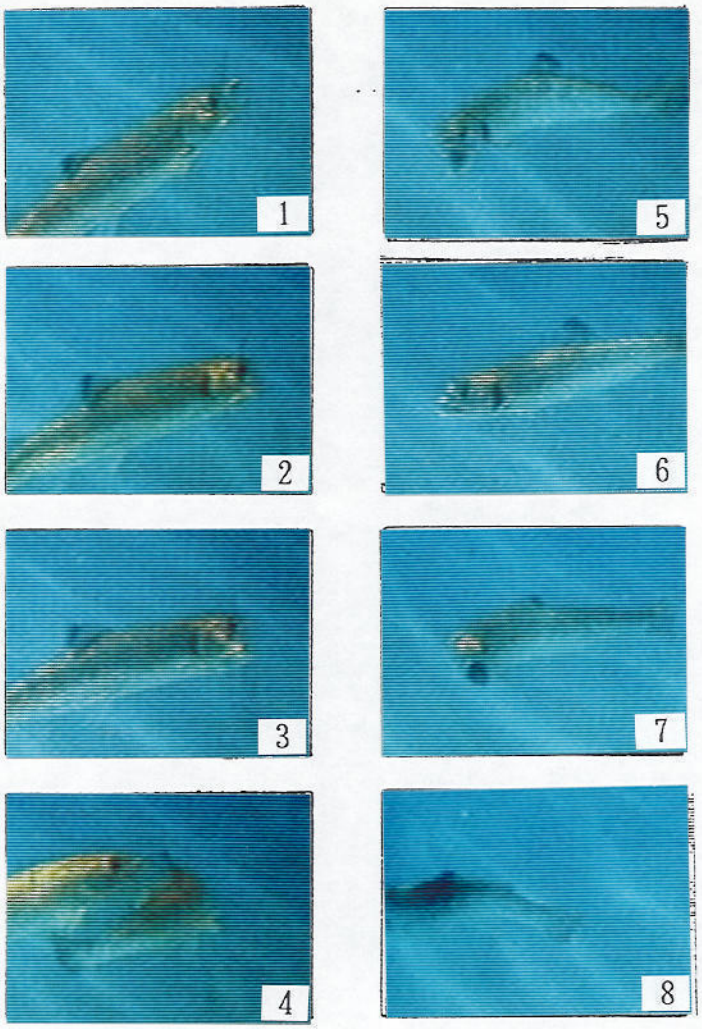
Fig.2-5. 2 号釣針に喰いついた魚の行動連鎖（写真 1 ～ 写真 8）と釣糸に加わった張力の変化（A）．口腔内に入った釣針が写真 3 で吻端付近に針がかりし，魚は写真 4 から「ひねり」，「振り」を行うが，はずれず釣り上げられた例．

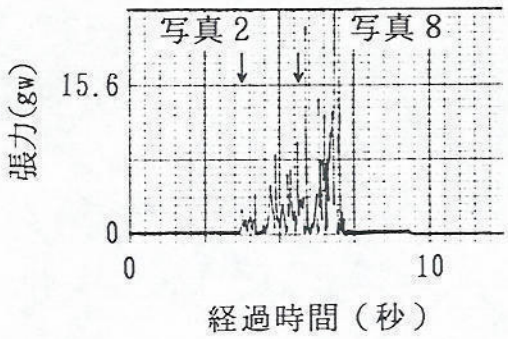



A

Fig.2-6. 12 号釣針に喰いついた魚の行動連鎖（写真 1 ～ 写真 8）と釣糸に加わった張力の変化（A）．釣針が写真 3 で口蓋部に針がかりし，写真 6～7 の「ひねり」によってはずした例.




A

Fig.2-7. 12 号釣針に喰いついた魚の行動連鎖（写真 1 ～ 写真 8）と釣糸に加わった張力の変化（A）．魚は写真 3 から釣針をはずそうとし，次第に強い「ひねり」，「振り」を行って釣針をはずした例.

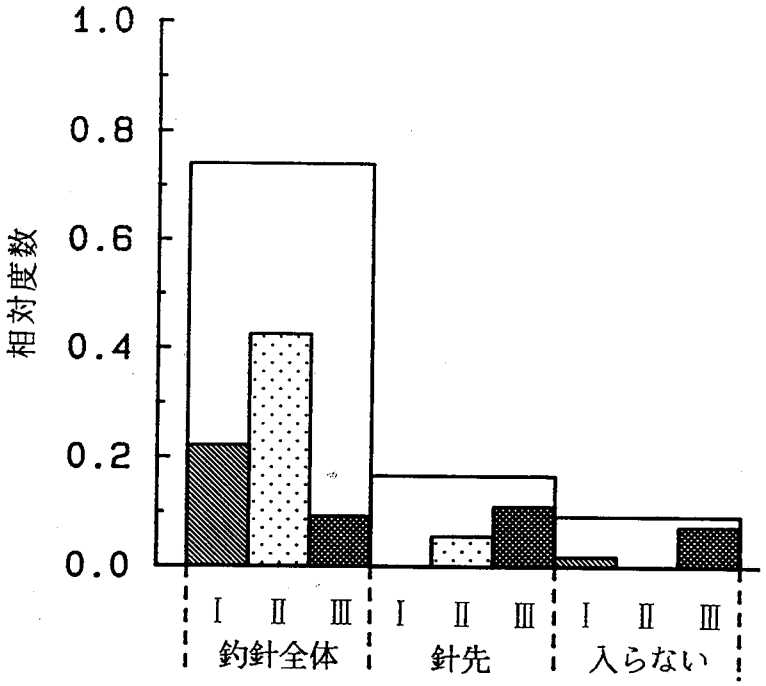



Fig.2-8. 2 号釣針に喰いついたときに口腔内に入った釣針の部位および喰いついたときの開口度の相対度数（「あわせ」を想定した実験）．開口度（Ⅰ：全開，Ⅱ：半開，Ⅲ：1／4 開）．

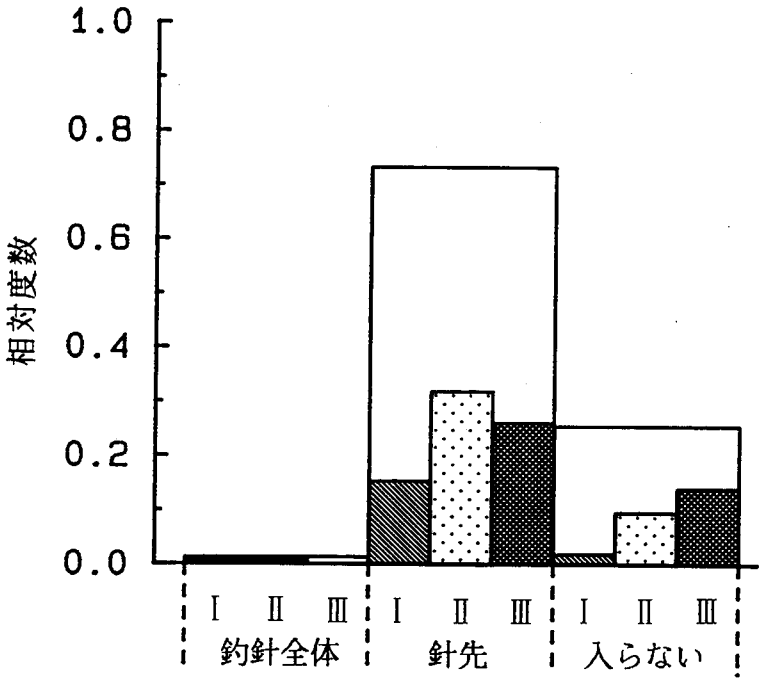



Fig.2-9. 12 号釣針に喰いついたときに口腔内に入った釣針の部位および喰いついたときの開口度の相対度数（「あわせ」を想定した実験）．開口度（Ⅰ：全開，Ⅱ：半開，Ⅲ：1／4 開）．

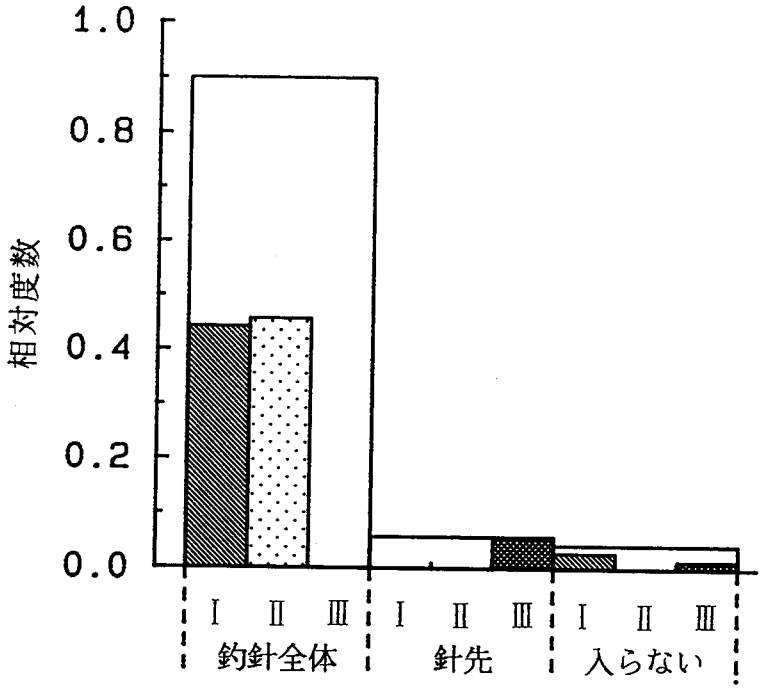



Fig.2-10. 2 号釣針に喰いついたときに口腔内に入った釣針の部位および喰いついたときの開口度の相対度数（「向こうあわせ」を想定した実験）．開口度（Ⅰ：全開，Ⅱ：半開，Ⅲ：1／4 開）．

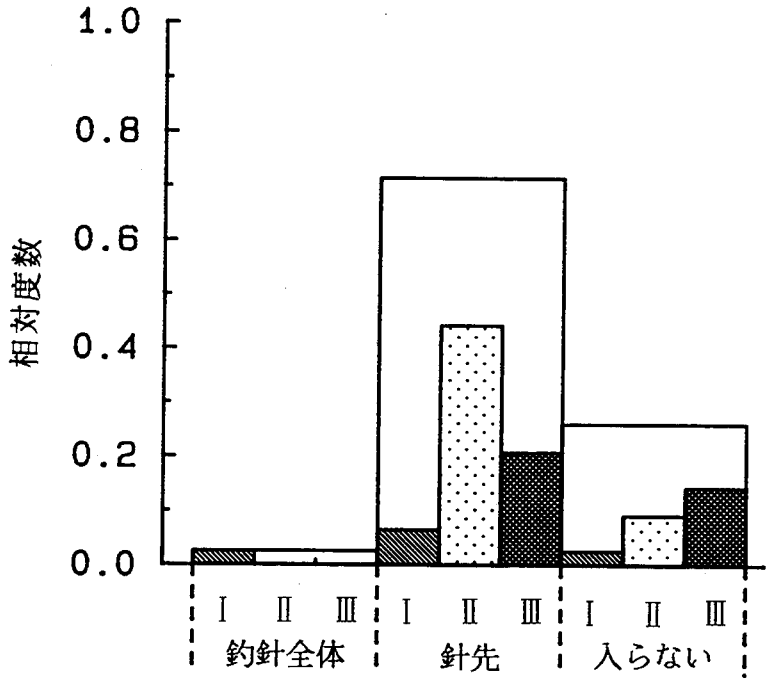



Fig.2-11. 12 号釣針に喰いついたときに口腔内に入った釣針の部位および喰いついたときの開口度の相対度数（「向こうあわせ」を想定した実験）．開口度（Ⅰ：全開，Ⅱ：半開，Ⅲ：1／4 開）．

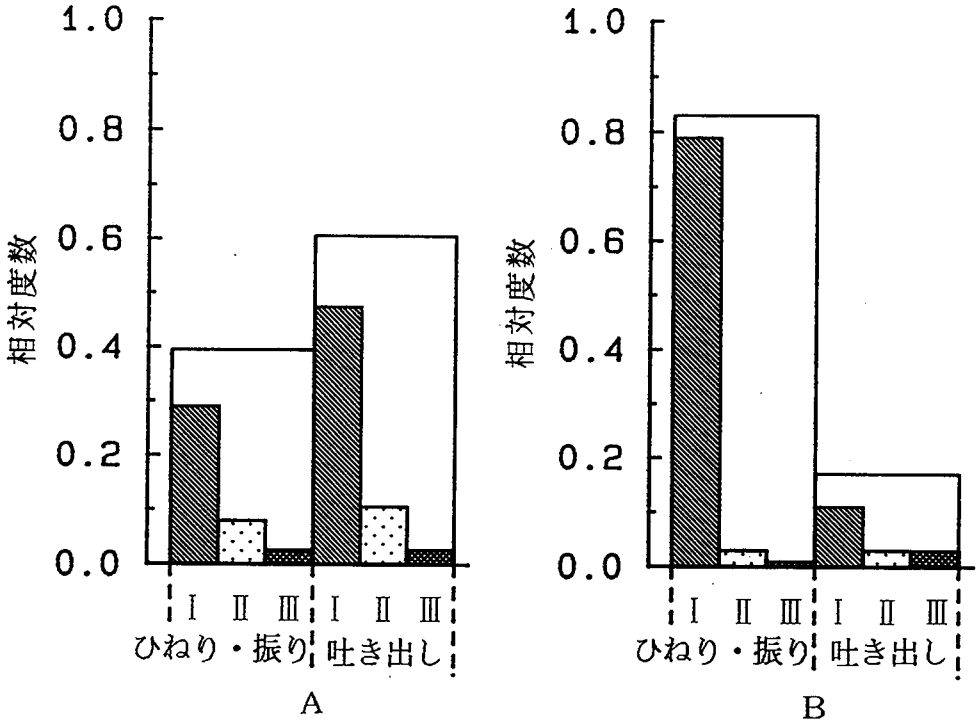



Fig.2-12. 釣針を口から出そうとする行動およびそれぞれの行動における開口度の相対度数（「あわせ」を想定した実験）.
A：2 号釣針の場合. B：12 号釣針の場合. 開口度（Ⅰ：全開, Ⅱ：半開, Ⅲ：1／4 開）.

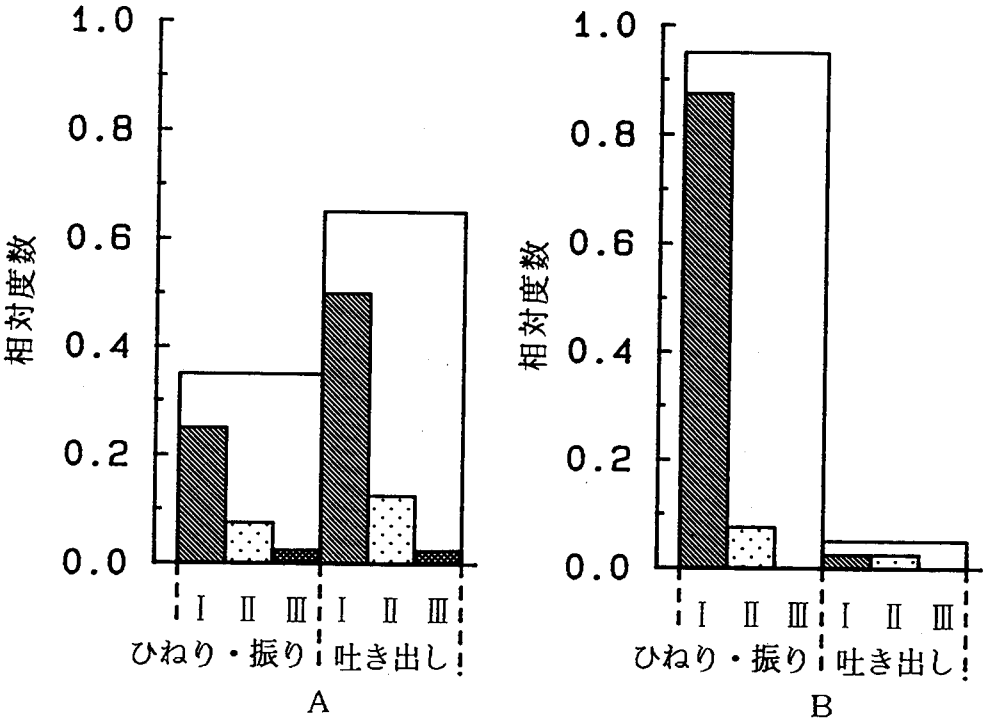



Fig.2-13. 釣針を口から出そうとする行動およびそれぞれの行動における開口度の相対度数（「向こうあわせ」を想定した実験）.
A：2 号釣針の場合. B：12 号釣針の場合. 開口度（Ⅰ：全開, Ⅱ：半開, Ⅲ：1／4 開）.

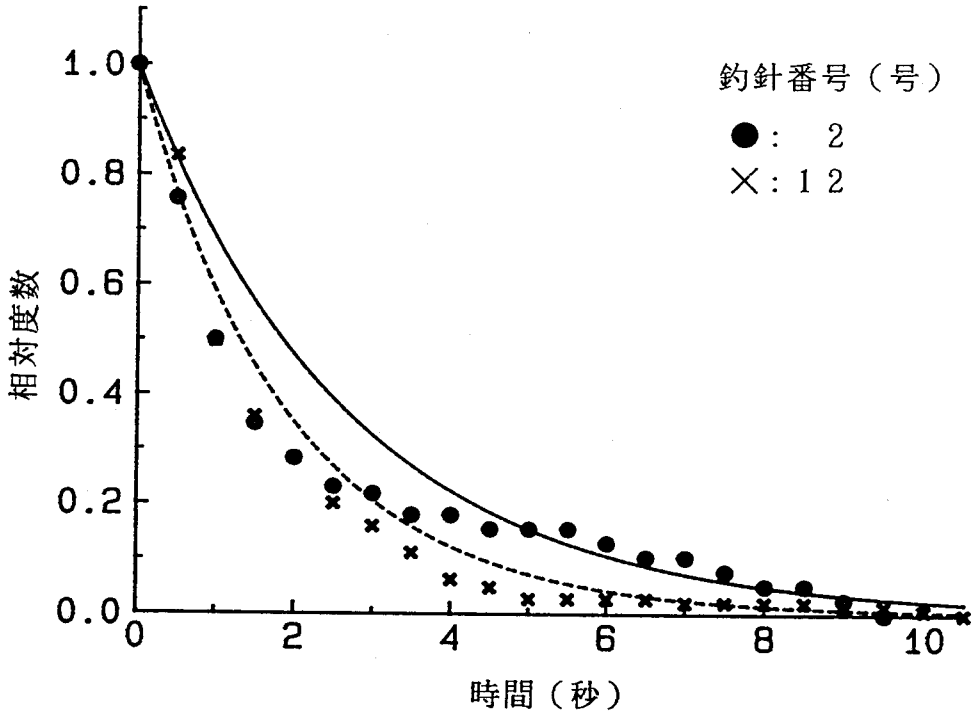



Fig.2-14. 2 号釣針と 12 号釣針を使用した場合における口腔内に釣針が存在する時間分布の比較（「あわせ」を想定した実験）.

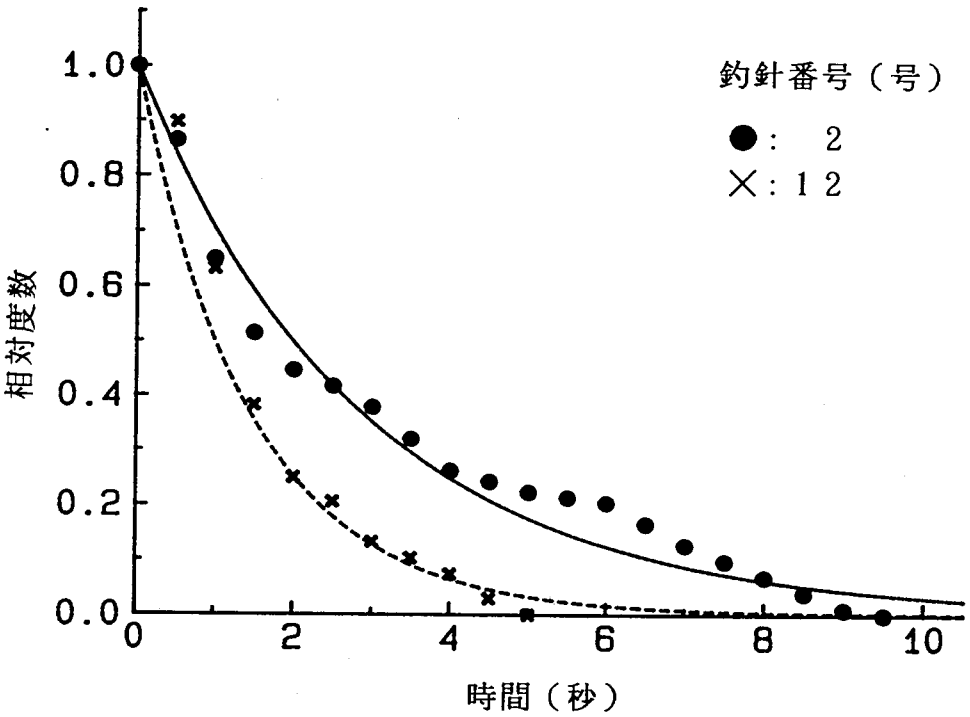



Fig.2-15. 2 号釣針と 12 号釣針を使用した場合における口腔内に釣針が存在する時間分布（「向こうあわせ」を想定した実験）.

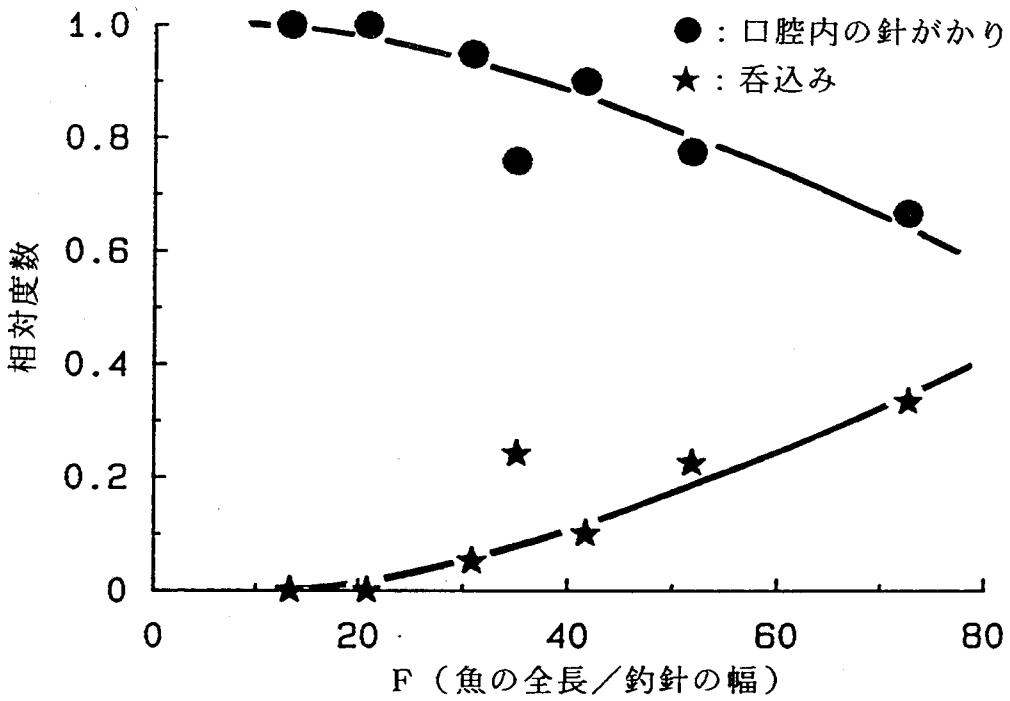



Fig.2-16.　F 値と漁獲された魚の中で口腔内に針がかりしていた魚の相対度数および呑込みの魚の相対度数の関係.
F：魚の全長(mm)／釣針の幅(mm).

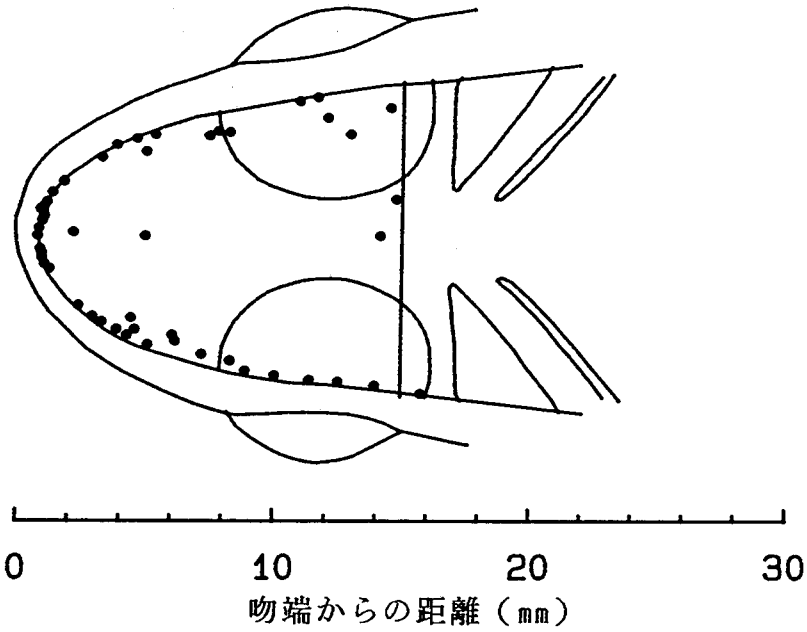



Fig.2-17.　0.3 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

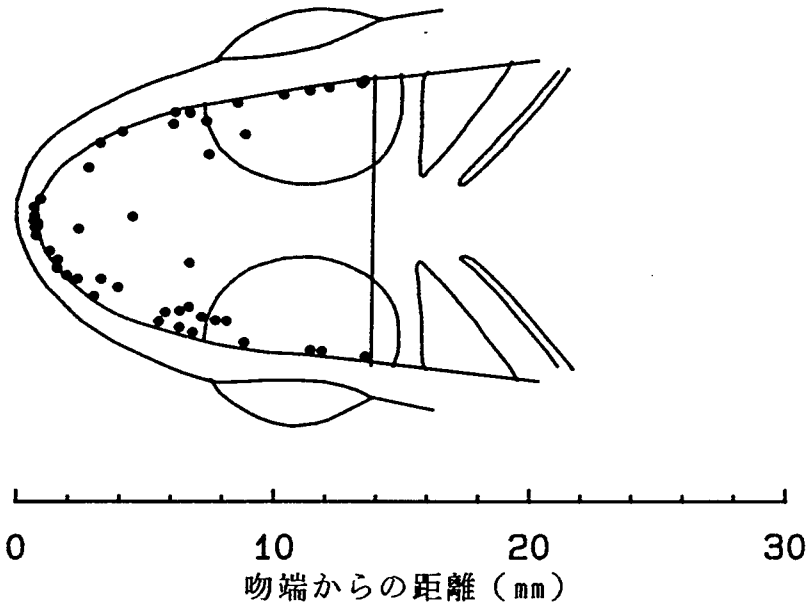



Fig.2-18.　0.8 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

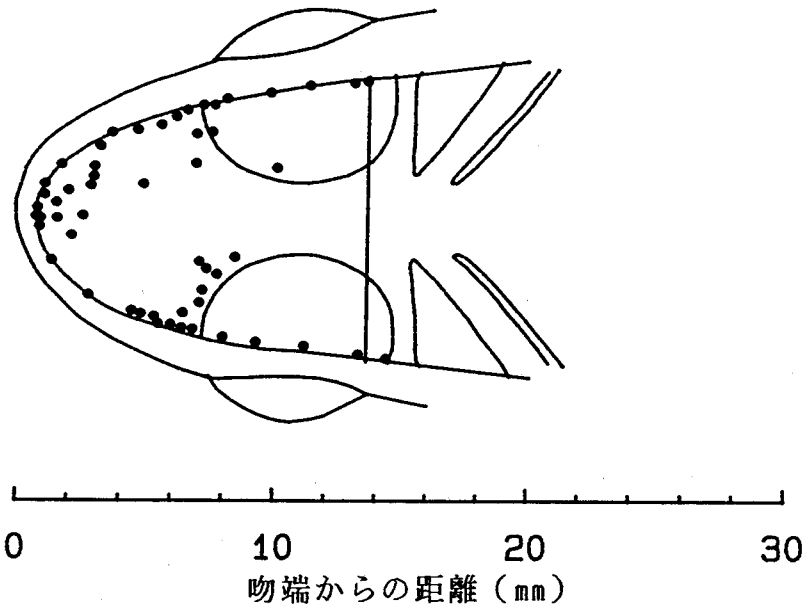



Fig.2-19.　2 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

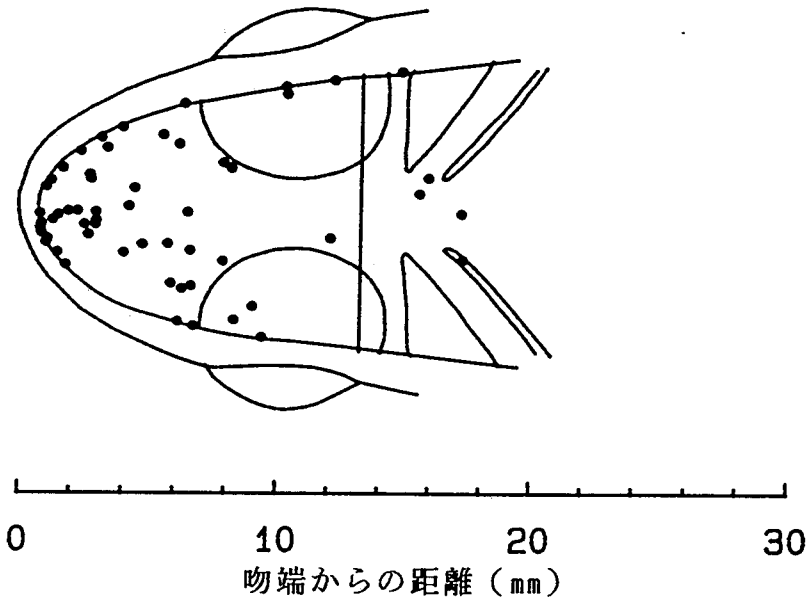



Fig.2-20.　3 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

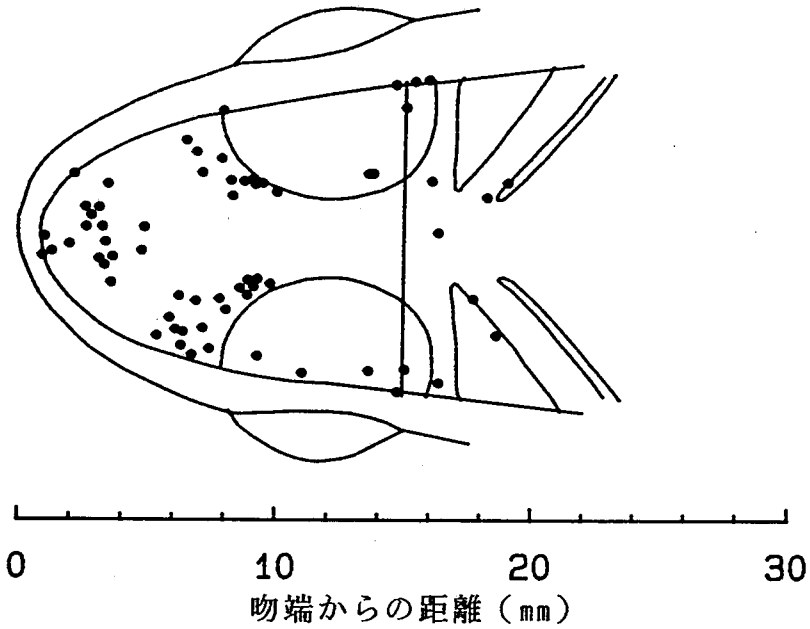



Fig.2-21.　5 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

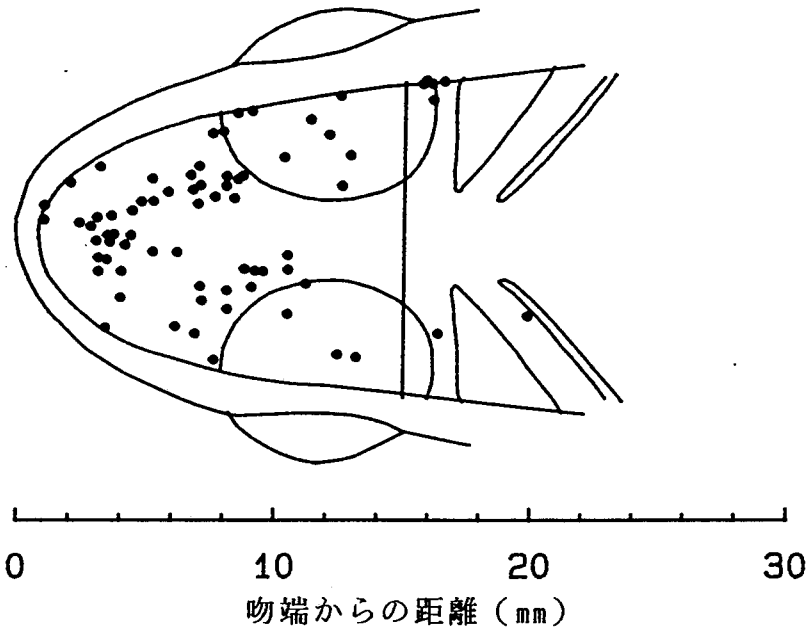



Fig.2-22.　9 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

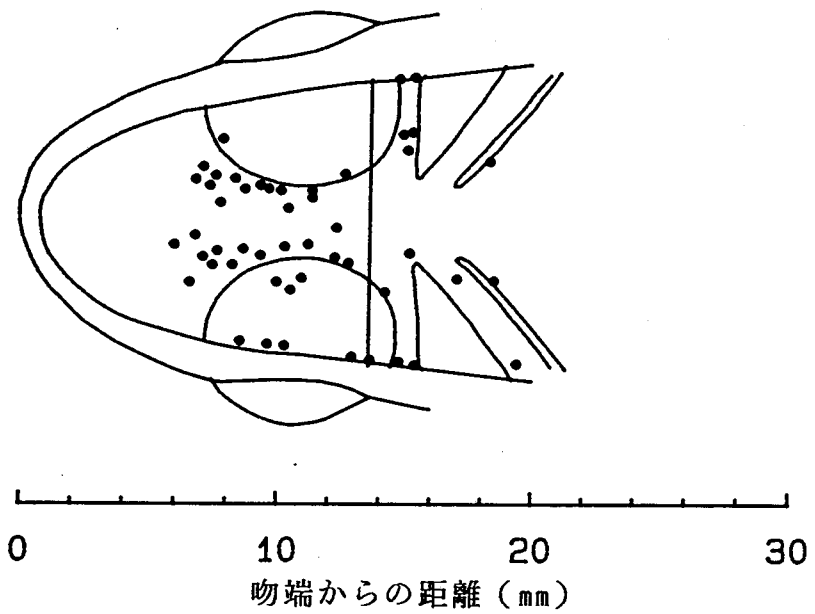



Fig.2-23.　13 号釣針の針がかりした位置の分布（口腔背面）.

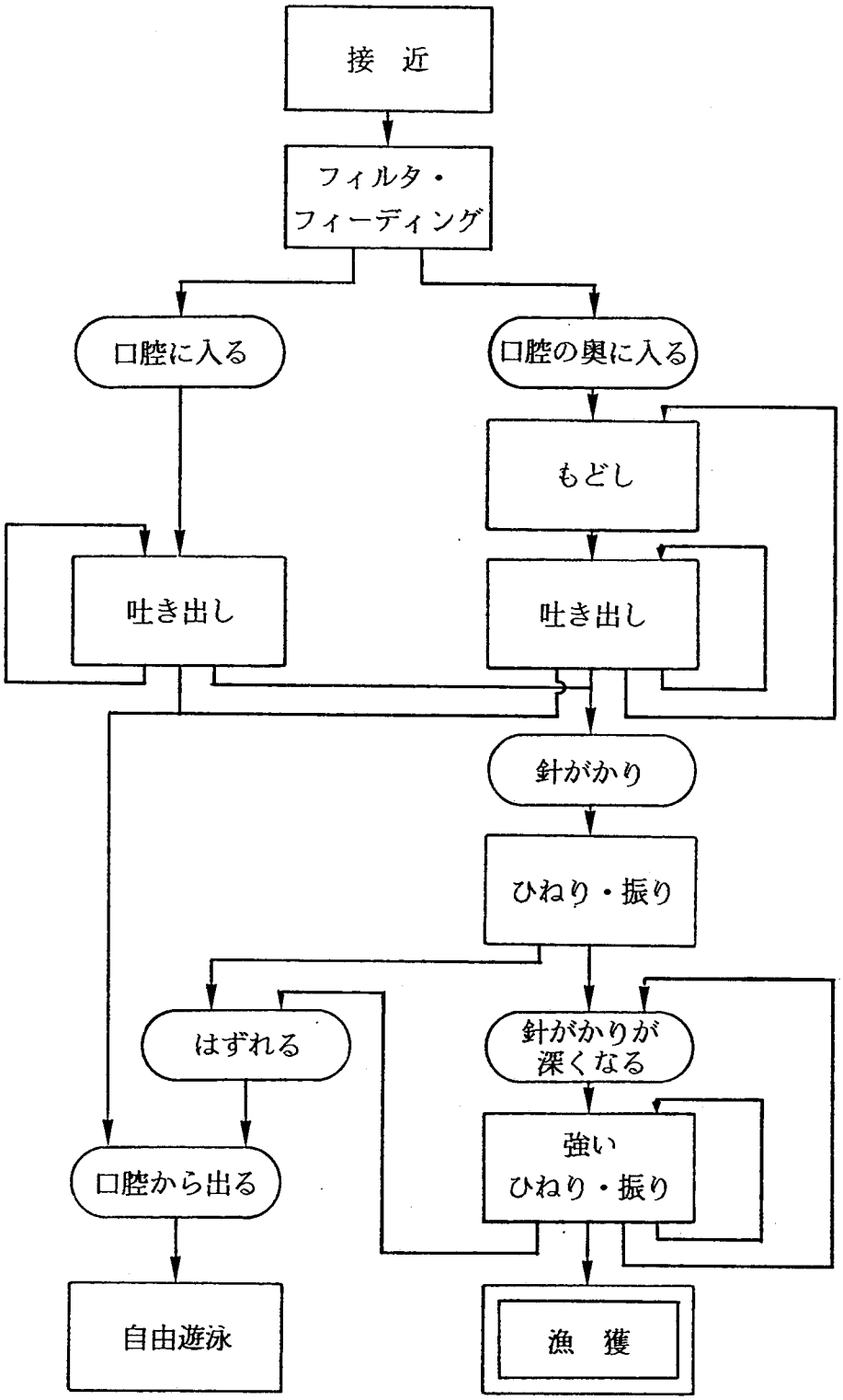



Fig.2-24.　釣針によって漁獲が成立するまでの魚の行動連鎖.

□：魚の行動.　○：釣針の状態.

Table 2-1. 釣針に対するサクラマスの行動実験の条件

| 実験番号 | 釣針番号 (号) | ハリス番号 (号) | 釣糸の終端 | 実験魚の全長 (mm) 平均 | 標準偏差 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0.4 | 固定*1 | 166 | 13 |
| 2 | 2 | 0.4 | 固定*1 | 168 | 16 |
| 3 | 12 | 2 | 固定*1 | 161 | 9 |
| 4 | 12 | 2 | 固定*1 | 155 | 13 |
| 5 | 2 | 0.4 | 浮子*2 | 166 | 13 |
| 6 | 12 | 2 | 浮子*2 | 167 | 20 |

*1 「あわせ」を想定した実験

*2 「向こうあわせ」を想定した実験.

Table 2-2. 漁獲実験の条件

| 実験番号 | 釣針番号 (号) | 釣針の幅 (mm) | 釣針の先高さ(mm) | ハリス番号(号) | 実験魚の全長(mm) 平均 | 標準偏差 | 水温 (°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.3 | 2.0 | 2.3 | 0.4 | 145.5 | 6.2 | 19 |
| 2 | 0.8 | 2.6 | 2.4 | 0.4 | 134.9 | 5.8 | 19 |
| 3 | 2 | 3.2 | 2.6 | 0.4 | 133.5 | 5.9 | 19 |
| 4 | 3 | 3.7 | 3.2 | 0.4 | 129.9 | 5.9 | 19 |
| 5 | 5 | 4.7 | 4.1 | 0.8 | 145.1 | 6.0 | 19 |
| 6 | 9 | 7.0 | 5.8 | 1.5 | 145.8 | 6.7 | 18 |
| 7 | 13 | 10.0 | 7.2 | 2 | 132.9 | 5.2 | 18 |

Table 2-3. 釣針に対するサクラマスの行動の分類

| 行動の種類 | 定　義 |
|---|---|
| 接近 | 釣針に近づく |
| filter feeding | 口を開き、口の中に餌および釣針を取り込む |
| もどし*1 | 口を閉じ、鰓蓋を大きく開く |
| 吐き出し*1 | 口を開き、釣針を出そうとする |
| ひねり*1 | 口を開き、1回右か左に体を強く湾曲させる*2 |
| 振り*1 | 口を開き、左右に2回以上体を強く湾曲させる*2 |
| 不完全なかみ | 口唇で餌をはさみ、完全に口の中に入らない |

*1 これらの行動は餌および釣針を口の中に入れて行う

*2 すばやい前進をともなう場合がある.

## 3. 釣針の漁獲選択性

2章の魚の行動調査の結果をもとにして，釣針に喰いついた魚を釣り上げることができる確率を表す数学モデルを作成した。釣針の大きさ，対象魚の大きさを変えて釣の実験を行い，釣針の入り難さ，針がかりのしやすさを表す係数を推定した。そして，これらの係数を釣針の大きさと対象魚の大きさの関数として表し，釣針の漁獲選択性曲線を求めた。

### 3. 1. 釣獲確率のモデル

竿釣の試行の繰り返しをベルヌイ試行列とすれば，釣針に喰いついた魚を釣り上げることができる確率は，試行回数に対する漁獲尾数の比である釣獲率として推定することができる。この確率を釣獲確率とし，口腔内に針がかりする確率と呑込みが生じる確率との和として求められるものと考えた。2章で述べたように，魚の口に入った釣針が針がかりして漁獲される現象には，釣針が口の中に入る深さ，針がかりのしやすさ，かかった釣針の外れ難さの3つの要因が考えられる。口の中に入った釣針が口から出る間に針がかりし，1度かかった釣針が外れないものとすれば，これらの確率は釣針が吻端から口の中の任意距離に入る事象と入った釣針が口から出る間に任意距離で針がかりする事象とが同時に起こる確率と

して求めることができる。

釣漁具による漁獲は，いわゆる「スレがかり」と呼ぶ，魚の体表に針がかりする場合もある。「スレがかり」は口腔に針がかりする場合と明らかに異なる現象であるので，ここでは「スレがかり」を除外して釣獲確率を求めることにした。

### 3．1．1．釣針が口腔内に入る確率

魚が釣針に喰いついたとき，釣針が口腔内の奥まで入る深さは，釣針の大きさや形状，釣餌の大きさや形状，魚の口の大きさや形状，口の開き，釣針に接近する時の魚の遊泳速度，口腔内の水流などの要因が複雑に作用した結果であると考えられる。これらの要因の中で，魚の口の開き，遊泳速度，口腔内の水流は摂餌行動の活発さによって異なってくる。釣針に対するサクラマスの行動を観察した結果，釣針に喰いつく時の行動は主にfilter feeding 方式である。釣針の存在する前方位置で口を大きく開き，釣針を口に入れ，そのまま通過しながら口を閉じる。ここではどの魚も常に同様な行動をし，遊泳速度，口の開きが一定であると仮定し，釣針が魚の口の中の任意距離に入る確率を求めた。

サクラマスの鰓蓋および鰓を切取り，体側から見た口腔形状を Fig.3-1 に示す。口を開けた時と閉じたときでは直径が異なるが，概ね円筒形状と見なされる。魚の口

腔の形状は魚種によって異なるが，口腔を単純化して円筒形状をしているものと仮定した。釣針の移動を吻端からの距離に着目して考え，これらについて吻端を原点 0 とし，体軸と平行に円筒の中心軸 X を喉の方向として Fig.3-2 に表す。吻端から食道入口までの距離を口腔長 Q とし，その位置を Q で表す。また，吻端からの距離 q の位置を q とする。

魚が釣針に喰いついたとき，釣針は Fig.3-2 に示すように針先を X 軸と平行に円筒形と仮定した口腔内を喉の方向へ移動していくものと考え，釣針が入った距離を「さきまげ」の位置で示す。喉の方向への移動が止まる可能性は釣針が口腔内のどの場所にあっても X 軸上の位置として考えると同じであり，重なり合わない２つの区間での状態は独立であると仮定する。[49] また，釣針は口腔のある位置で喉の方向への移動が止まると，今度は逆に口腔から出る方向へ移動し始めるとし，一旦移動が止まるとそれ以上喉の方向へは進まないと仮定する。この場合，釣針の移動が任意の区間［q，q＋dq］の間に止まる確率は dq に比例するものとする。この比例係数を釣針の入り難さ a とすると，区間［q，q＋dq］の間に釣針の移動が止まる確率は a dq となる。

円筒口腔内を移動する釣針が区間［0，q］の間に止まらない確率を $H_r(q)$ と表すことにする。釣針が［0，q＋dq］の間に止まらない確率 $H_r(q+dq)$ について，

区間［0，　q＋dq　］を2つの区間［0，　q］，　［q，q＋dq　］に分けて考える。区間［q，　q＋dq　］釣針が止まらない確率は　1－a dq　であるから，

$$H_f(q+dq) = H_f(q)\,(1-a\,dq) \tag{3-1}$$

が成り立つ。（3-1）式を変形して

$$\frac{H_f(q+dq)-H_f(q)}{dq} = -aH_f(q) \tag{3-2}$$

となる。ここで　dq　→0　としたとき，（3-2）式より

$$H_f'(q) = -aH_f(q) \tag{3-3}$$

が得られる。原点では釣針は移動しているので，初期条件　$H_f(0)$　＝1　を用いて，（3-3）式の微分方程式を解けば，

$$H_f(q) = e^{-aq} \tag{3-4}$$

となる。

口腔内の区間［0，　q］の間に釣針が止まる確率　$H(q)$　は

$$H(q) = 1-H_f(q) = 1-e^{-aq} \tag{3-5}$$

である。これから確率密度　$h(q)$　は

$$h(q) = a\,e^{-aq} \tag{3-6}$$

となる。

### 3．1．2．針がかりの確率

針がかりは，一般的な釣針の形状から考えて，「あわせ」や魚の移動によって釣針が口腔内から引き出される

ときや魚が釣針を口腔から出そうとしているときに生じるものと考えられる。針がかりの確率は，釣針の移動方向が逆になるが，釣針が入る場合と同様に求めることができる。

釣針は針先を X 軸と平行に円筒形と仮定した口腔内を移動し，針がかりするものとし，これを Fig.3-3 に示す。針がかりの可能性は釣針が口腔のどの場所にあっても X 軸上の位置として見れば同じであり，重なり合わない２つの区間での状態は独立であるとする。また，釣針は一旦針がかりすると釣り上げるまで外れないものと仮定する。吻端からの距離 x の位置を x と表すと，任意の区間［x − dx, x］の間に針がかりする確率は釣針の移動が止まる確率と同様に dx に比例するものとし，この比例係数を針がかりの係数 b とする。係数 b は針がかりのしやすさを表す。区間［x − dx, x］の間に針がかりする確率は b dx となる。

釣針が吻端からの距離 q の位置まで入ったものとすると，このとき釣針の「さき」は先高さが L であるから Fig.3-3 のように q − L の位置まで入ったことになる。ここで，口腔の区間［x − dx, q − L］を２つの区間［x − dx, x］，［x, q − L］に分けて考える。区間［x, q − L］の距離は q − L − x であるから，q の位置に止まった釣針が区間［x, q − L］の間に針がかりしない確率を $S_r(q-L-x)$ と表す。同様に，区間［

$x-dx$, $q-L$ ] の距離は $q-L-x+dx$ であるから，釣針が区間 [ $x-dx$, $q-L$ ] の間に針がかりしない確率 $S_f(q-L-x+dx)$ は，区間 [ $x-dx$, $x$ ] に針がかりしない確率 $1-b\,dx$ より，

$$S_f(q-L-x+dx) = S_f(q-L-x)(1-b\,dx) \tag{3-7}$$

と表される。(3-7) 式を変形して

$$\frac{S_f(q-L-x+dx)-S_f(q-L-x)}{dx} = -bS_f(q-L-x) \tag{3-8}$$

となる。ここで $dx \to 0$ としたとき，(3-8) 式より

$$S_f'(q-L-x) = -bS_f(q-L-x) \tag{3-9}$$

が得られる。釣針は $q-L$ の位置では針がかりしていないので，初期条件 $S_f(0) = 1$ を用いて (3-9) 式を解けば，

$$S_f(q-L-x) = e^{-b(q-L-x)} \tag{3-10}$$

となる。ただし，$0 \leqq x \leqq q-L$ である。

[ $x$, $q-L$ ] の間に針がかりする確率 $S(q-L-x)$ は

$$\begin{aligned} S(q-L-x) &= 1-S_f(q-L-x) \\ &= 1-e^{-b(q-L-x)} \end{aligned} \tag{3-11}$$

であるから，その確率密度 $s(q-L-x)$ は

$$s(q-L-x) = be^{-b(q-L-x)} \tag{3-12}$$

と表される。

魚の口腔は咽頭部を過ぎると食道につながる。食道の入口は食物が通るとき開き，普段は閉じている。したがって，釣針が食道より奥に入ると，確実に針がかりする

ものと考えられる。このように口腔長 Q 以上の食道などの位置に針がかりするためには，少なくとも釣針は Q＋L 以上の位置に入らなければならない。釣針が Q 以上の位置に針がかりする場合を呑込みとし，吻端から Q＋L 以上の位置に入った釣針は確実に針がかりするものとする。したがって，針がかりする確率 $S(q-L-x)$ の定義域は q について［0，Q＋L］となり，x について［0，Q］となる。

### 3．1．3．釣獲確率

魚が喰いついたときに，釣針が q の位置まで入って，x の位置に針がかりする確率密度は，(3-6) 式と (3-12) 式の積として表され，(3-13)式のようになる。

$$h(q)\ s(q-L-x) = a e^{-aq} b e^{-b(q-L-x)}$$

$$= a b e^{b(x+L)}\ e^{-(a+b)q} \qquad (3\text{-}13)$$

$$(0 \leqq x + L \leqq q \leqq Q + L)$$

吻端からの距離 x の口腔内の位置に針がかりするためには，釣針が x＋L の位置より口腔の奥の方向に入らなければならない。また，釣針が吻端から Q＋L 以上の位置に入ると，呑込みとなるので，(3-13) 式には $0 \leqq x + L \leqq q \leqq Q + L$ の条件がつく。したがって，口腔内に入った釣針が吻端からの距離 x の位置に針がかりする確率密度 $p_h(x)$ は，(3-13) 式を q について区間［x＋L，Q＋L］を積分して得られ，次式となる。

$$p_h(x) = \int_{x+L}^{Q+L} h(q)\ s(q-x-L)\ dq$$

$$= a b e^{b(x+L)} \int_{x+L}^{Q+L} e^{-(a+b)q}\ dq$$

$$= \frac{a b e^{b(x+L)}}{a+b} \left[ -\ e^{-(a+b)q} \right]_{x+L}^{Q+L}$$

$$= \frac{a b e^{b(x+L)}}{a+b} \left( e^{-(a+b)(x+L)} - e^{-(a+b)(Q+L)} \right)$$

$$= \frac{a b\ \left( e^{-a(x+L)} - e^{-a(Q+L)-b(Q-x)} \right)}{a+b} \qquad (3-14)$$

吻端からの距離 D の位置を D として，針がかりの位置 x が区間［0，D］に存在する確率 $P_c(D)$ は (3-14) 式を x について区間［0，D］を積分して得られる。

$$P_c(D) = \int_0^D p_h(x)\ dx$$

$$= \int_0^D \frac{a b\ \left( e^{-a(x+L)} - e^{-a(Q+L)-b(Q-x)} \right)}{a+b}\ dx$$

$$= \left[ \frac{-\ \left( b e^{-a(x+L)} + a e^{-a(Q+L)-b(Q-x)} \right)}{a+b} \right]_0^D$$

$$= \frac{b e^{-aL} + a e^{-a(Q+L)-bQ}}{a+b}$$

$$- \frac{b e^{-a(D+L)} + a e^{-a(Q+L)-b(Q-D)}}{a+b} \qquad (3-15)$$

ここで，$D = Q$ のとき，(3-15) 式は釣針が口腔内にかかって釣り上げられる確率 $P_h$ となり，

$$P_h = P_c(Q)$$

$$= \frac{b e^{-aL} + a e^{-a(Q+L)-bQ}}{a+b} - e^{-a(Q+L)} \qquad (3\text{-}16)$$

と表される。

針がかり位置 $x$ が $[D_1,\ D_2]$ の区間である確率 $P_{dis}(D_1,D_2)$ は (3-15) 式より，

$$P_{dis}(D_1,D_2) = P_c(D_2) - P_c(D_1)$$

$$= \frac{b e^{-a(D_1+L)} + a e^{-a(Q+L)-b(Q-D_1)}}{a+b} - \frac{b e^{-a(D_2+L)} + a e^{-a(Q+L)-b(Q-D_2)}}{a+b}$$

$$= \frac{a e^{-a(Q+L)-bQ}\left(e^{bD_1} - e^{bD_2}\right)}{a+b} + \frac{b e^{-aL}\left(e^{-aD_1} - e^{-aD_2}\right)}{a+b} \qquad (3\text{-}17)$$

となる。(3-17) 式より，口腔内に針がかりする位置の分布が求められる。

一方，釣針が $Q$ 以上の位置に針がかりし，呑込みになる確率を呑込み確率 $P_s$ とする。この場合，確実に針がかりすれば，釣針が $Q+L$ 以上入る確率 $H_f(Q+L)$ に等しいので，(3-4) 式より

$$P_s = H_f(Q+L) = e^{-a(Q+L)} \qquad (3\text{-}18)$$

である。

釣獲確率 $P_{catch}$ は口腔内に針がかりする確率 $P_h$ と呑込み確率 $P_s$ の和であるから，(3-16)，(3-18) 式より

$$P_{catch} = P_h + P_s$$

$$= \frac{1}{a+b}\left(b e^{-aL} + a e^{-a(Q+L)-bQ}\right) \qquad (3\text{-}19)$$

と表される。

釣獲確率 $P_{catch}$ は係数 a，b を持つ変数 Q，L の関数として表される。魚の口腔長 Q と釣針の先高さ L は対象魚と使用する釣針を測定することによって決めることができる。しかし，釣針の入り難さの係数 a と針がかりの係数 b は未知の係数である。そこで係数 a，b の値と対象魚の大きさ，釣針の大きさとの関係を求めるために，実際に釣を行い得られた釣獲率から係数 a と b の値を推定することにした。入り難さの係数 a については，口腔長 Q，先高さ L，呑込み率がわかると (3-18) 式より求めることができる。なお，呑込み率は試行回数に対する釣針を呑込んでいた漁獲尾数の割合とする。

## 3．2．材料と方法

釣獲率を求めるための実験として対象魚の大きさと釣針の大きさの組合せを考え，主に釣針の大きさを変えて

15 種類の組合せを設定して行った。釣の実験は室内において1日に1回行った。実験した条件を Table 3-1 に示す。実験番号1から7では針がかりしていた位置をスケッチによって記録した。実験魚には釣られた経験のない魚が大量に必要である。そこで，養殖魚の中から選び，反応時間が短くなるように行動の機敏なサクラマス を用いて実験した。実験魚は実験水槽と同じ飼育水槽で約3カ月間飼育された。魚の状態が実験開始時点に同一であるように，実験日の1週間前から養鱒稚魚用配合飼料を日常の3分の1程度に減量し，100 尾当り 30 g を1日1回与えた。また，実験魚が活発な摂餌行動を起すように初期尾数を 100 尾にした。

実験に使用した竿釣具は Fig.1-6 に示した1章と同じものである。1m の竿先にはマイクロ・スイッチを取付けた。パーソナル・コンピュータを使用してスイッチの入・切をモニタし，釣針を下ろした時刻と上げた時刻を自動的に記録した。併せて，漁獲の有無を入力して記録した。また，釣手が一定の調子で釣を行えるように所定の準備時間が経過した後，釣針を下ろす合図の音を発するようにした。実験に使用した釣針は袖形釣針である。この釣針は汎用の釣針で，大きさの種類が最も豊富な釣針であるので使用した。Fig.1-7 に使用した袖型釣針の大きさと形状を示す。釣餌には上記の飼料を体積 3:2 の比率に強力小麦粉と混ぜて蒸したものを直径 4 mm に丸め

て使用し，釣針の「さき」がでないように釣針につけた。

実験前日には容積 500 l の飼育水槽から水深 40 cm に調整して充分エアレーションを行った大きさ 256 cm × 116 cm × 70 cm の実験水槽に実験魚を入れた。どちらの水槽も内部は青色である。当日，実験開始 4～5 時間前に実験水槽を暗幕で囲い，水槽上部に取り付けた 110 W の白色蛍光灯 2 灯によって照明し，照度は水槽中央部水面で 500 lx であった。釣手は同じ人が担当し，釣漁具の操作が異ならないように注意した。そして，信号音に従って 60 cm ほど開けた暗幕の隙間から釣針を水槽中央部に下ろした。「あわせ」を浮子の先端が水没する瞬間に行い，一気に引き上げた。浮子の先端まで沈まない「ひき」は無効とした。そして，釣上げた魚を逐次別の飼育槽に移した。

## 3．3．結果

釣獲率は，100 尾の魚を対象にしたので，1 章の結果を考慮して 100 試行目までに釣り上げた尾数を漁獲尾数とし，100 試行に対する漁獲尾数の比として，これを求めた。同様に，呑込み率を 100 試行に対する呑込みの尾数の比とした。スレがかりで釣り上げた尾数は漁獲尾数に含まず，また，試行回数からも除外した。

口腔長 Q を直接測定することは難しいが，口腔長は頭長 HL より若干短いものと考えられる。Fig.3-1 に

示した全長 TL が 109.5 mm のサクラマスでは，頭長 23.6 mm に対し口腔長は 19.4 mm であった。そこでサクラマスでは口腔長 Q は頭長の 0.82 倍の長さとした。頭長は魚体長の関数として考えられるが，魚種によって係数は異なってくる。ここで実験に使用したサクラマスの測定結果を整理し，Fig.3-4 に全長 TL と頭長 HL の関係を示す。サクラマスの頭長 HL は次式で表された。

$$HL = 0.20\ TL + 2.0\ (mm) \qquad (3\text{-}20)$$

したがって，口腔長 Q は

$$Q = 0.16\ TL + 1.6\ (mm) \qquad (3\text{-}21)$$

となる。

釣獲確率は次のようにして求めた。まず，対象魚の平均全長から (3-21) 式によって口腔長 Q を求め，使用した釣針の先高さ L を測定し，(3-18) 式を適用して呑込み率から釣針の入り難さの係数 a の値を得た。次に釣獲確率が釣獲率に等しくなるように，(3-19) 式を用いて針がかりの係数 b の値を求めた。係数 b の値を 100 以上に大きくしても，釣獲率に釣獲確率が適合しない場合には，呑込み確率の適合度が悪くならない範囲で係数 a の値を小さくして係数 b の値を求めた。釣獲確率は呑込み確率を含むので，釣獲確率が釣獲率と一致することを優先して係数 a，b の値を定めた。

釣獲率と釣獲確率など得られた結果を Table 3-2 に整

理して示す。釣針を呑込み率と呑込み確率の適合度が悪い例は実験番号 9 の結果だけであった。

実験番号 1～7 において記録した口腔背面の針がかり位置の分布については 2 章の Fig.2-14～Fig.2-20 に示した。この分布の状態を X 軸上に投影し，針がかり位置を吻端からの距離について整理した結果を Fig.3-5～Fig.3-11 に表す。図中の曲線は呑込み率と釣獲率が一致するように推定した入り難さの係数 a と針がかりの係数 b の値を (3-17) 式に代入して求めた針がかり位置の分布を示す。最も小さい 0.3 号釣針の場合，Fig. 3-5 に示すように呑込み確率と呑込み率や，口腔内の針がかり位置の分布も概ね同様な傾向を示している。また，Fig.3-8 に示す 3 号釣針の場合までは概ね口腔内の針がかりの位置分布は同様な傾向を示すが，さらに釣針が大きくなると，Fig.3-9～Fig.3-11 に示すように，針がかりの位置の分布が唇の前端から約 10 mm 付近に集中するようになり，分布形が若干異なっていた。また，9 号と 13 号釣針の場合には，呑込み率が 0 であるが，呑込み確率が大きくなるように入り難さの係数 a の値を小さく推定しなければ，釣獲率を一致させることはできなかった。

魚の大きさおよび釣針の大きさと釣針の入り難さの係数 a との関係を求めるため，釣針との幅および魚の全長と入り難さの係数 a の関係を示したものが Fig.

3-12 である。魚の全長 TL (mm), 釣針の幅 W (mm) と釣針の入り難さの係数 a との関係を重回帰分析[50] すると, 次式を得た。

$$a = \frac{0.21\ W^{0.28}}{TL^{0.26}} \qquad (3\text{-}22)$$

Fig.3-12 の曲線は (3-22) 式から求めたものである。多少散らばっているもののおおよその傾向は一致している。

同様に釣針の幅および魚の全長と針がかりの係数 b の関係を求め示したものが Fig.3-13 である。同様に全長 TL (mm) および釣針の幅 W (mm) と針がかりの係数 b の関係を重回帰分析した。係数 b は次式で表される。

$$b = \frac{2.7 \times 10^{3}\ W^{4.5}}{TL^{2.9}} \qquad (3\text{-}23)$$

係数 b では (3-23) 式から求めた曲線とよく一致した。

使用した袖形釣針の先高さ L と幅 W の関係を Fig.3-14 に表す。釣針の先高さと幅は直線的関係にある。回帰直線を求めると, 袖形釣針の先高さ L は幅 W によって次式で表される。

$$L = 0.66\ W + 0.86\ (\mathrm{mm}) \qquad (3\text{-}24)$$

このようにして釣針の入り難さの係数 a, 針がかりの係数 b, 口腔長 Q, 先高さ L の全てが, 全長 TL と釣針の幅 W で表された。これら (3-21), (3-22), (3-23), (3-24) 式を (3-18), (3-19) 式に代入すると,

魚の全長 TL と釣針の幅 W から呑込み確率と釣獲確率を求めることができる。各実験で使用した魚の平均全長と袖形釣針の幅から呑込み確率と釣獲確率を求め，その適合度を調べ整理したものを Table 3-3 に示す。釣獲確率は実験番号の 3，4，8 において釣獲率との適合度が悪いが，それ以外の実験についてはよく一致している。

魚の全長と釣針の幅の比を F 値として，F 値に対する各実験の釣獲率を釣獲確率の推定値として示したものが Fig.3-15 である。図中の記号は各実験で使用した魚の平均体長の違いを 120～130 mm，130～140 mm，140～150 mm，217～218 mm の体長階級として表す。曲線は (3-19)，(3-21)，(3-22)，(3-23)，(3-24) 式から，魚の全長を一定とし，釣針の幅を変えて求めた釣獲確率を示す。ここで釣獲確率が対象魚群尾数に対する漁獲尾数の比に比例するものと仮定すれば，この図はサクラマスに対する袖形釣針の漁獲選択性を表している。なお，図には石田の方法[36] によって想定した漁獲選択性曲線も同時に描いてある。石田の方法では魚と釣針の大きさの比が同じであれば相対的効率が等しいと考えているので，このような図では 1 本の曲線として表される。しかし，釣獲確率から推定した漁獲選択性曲線は魚の大きさによって異なっている。魚の全長が大きくなるほど釣獲確率の最大値は小さくなり，釣獲確率が最大となる F 値が大きくなることが認められる。

## 3．4．考察

釣獲確率のモデルは口腔内への釣針の入り難さの係数 a，針がかりの係数 b，魚の口腔長 Q，釣針の先高さ L の関数として表された。Table 3-2 に示すように最も適合するように係数 a と係数 b をモデルに与えることによって，釣獲確率は釣獲率によく一致した。しかし，実験番号 9 では釣獲率に釣獲確率を一致させた場合，呑込み確率は呑込み率に比べ大きな値となった。これは実験番号 8，10，11 の結果と比較すると，呑込み確率が大きいのではなく呑込み率が小さすぎると考えられる。したがって，釣獲確率のモデルは口腔内に針がかりする現象を充分に表すことができるものである。

釣獲確率，呑込み確率といった平均的な確率では充分に適合するものといえるが，口腔内の針がかり位置の分布のようにより詳細な漁獲現象を見ると，本モデルでは魚に対して相対的に大きな釣針に喰いついた場合を充分に表すことができないといえる。これは本モデルでは口腔の形状を円筒と仮定しているが，サクラマスは深い口裂を持つ魚であることや口腔内を釣針が針先を体軸と平行に保って移動すると仮定したことに起因するものと考える。今後，魚の口腔の形状要因や釣針の形状要因を含めた釣獲確率のモデルに展開する必要がある。

釣針の入り難さの係数 a は大きく魚の口腔，釣針，

釣餌の３つの大きさ，形状，と魚の喰いつき方に関係して定まると考えられる。一方，針がかりの係数 b は文字どおりの針がかりのしやすさと一旦かかった釣針の外れ難さの２つの要素を含んでいる。針がかりは係数 a と同様に大きく魚の口腔，釣針，釣餌の３つの大きさ，形状，と魚の釣針の出し方に関係する。一旦かかった針の外れ難さには釣針の刺さり方，刺さった部分の強度，魚の引きの強さが関係すると考えられる。しかし，このように要因は想定できても，これらの要因がどのように関係しあった結果であるのか，現状ではまだ分析されていない。この点については今後の課題である。

釣獲確率を基にした漁獲選択性曲線は魚体が大きくなるとその最大値が低下するとともに，最大になる F 値が大きくなっている。針がかりする要因が単純に大きさの違いだけでなく，魚の引きの強さなどの力学的な作用も含まれていると理解されるので，当然異なるものと考えられる。

F 値と釣獲確率の関係として表した Fig.3-15 の漁獲選択性曲線を実用的なものとして，釣針の大きさごとの魚の全長と釣獲確率の関係を表したものが Fig.3-16 である。釣針の幅 2.0 mm である袖形 0.3 号釣針では全長 50 mm 以下のところに釣獲確率の最大値があり，漁獲選択性曲線は最も尖った形である。釣針が大きくなるにつれて最大値は低下するものの，大きな魚の釣獲確率が高

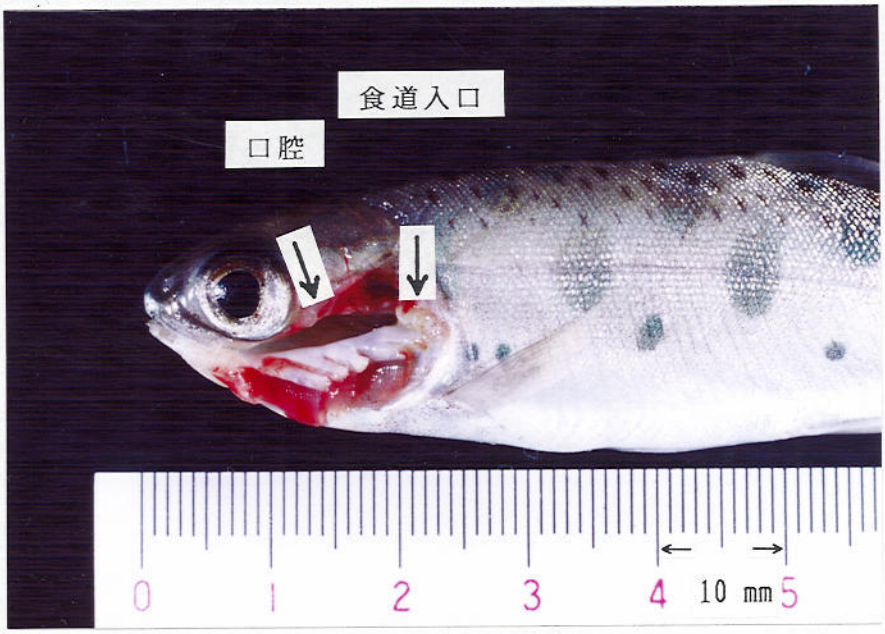
くなり，全長 100 mm 以上の魚に対する釣獲確率が一定し，選択性が鈍くなる。したがって，小さな釣針は小さな魚を鋭く選択するが，大きな釣針の選択性は鈍いことがわかる。ただし，これはサクラマスに対する袖形釣針の選択性であるから，少々大きな餌でも喰いついてくる肉食性の魚の摂餌行動の特長が現れているものと考えられる。

実験番号 14 の例では使用した 3 号釣針は全長約 220 mm のサクラマスの引きや重さに対して強度的に弱く，曲がったり，折れたりすることが多かった。この釣針の強度的な限界は釣針の使用可能な魚の全長の範囲を限定するものである。これによって釣獲確率のモデルの適合範囲も制限される。上記のように幅 3.7 mm の 3 号釣針ではモデルが適合する全長の範囲はおよそ 0～220 mm であると考えられる。さらに小さな釣針では全長の範囲は 0～220 mm より狭くなると考えられる。このように釣針の使用可能な範囲を明示しておけば，釣獲確率から求めた選択曲線は充分信頼できる。釣針の使用可能な魚の全長の範囲について今後明らかにしていく必要がある。

釣獲確率を基にして，漁獲対象とする魚について釣針の選択性曲線を推定するためには，釣針の入り難さの係数 a，針がかりの係数 b と魚や釣針の大きさとの関係が明らかすることが必要である。この方法は，現状では本論のような釣実験を行って，実測することしかない。

係数 a, b は対象魚の大きさ, 釣針の大きさについて重回帰することができるので, 回帰係数が求められる最小の魚と釣針の大きさの組合せ数を考えて実験計画をすれば, 効率的に正確な決定をすることができる。そうすることによって, 実際に用いる釣針の最適な選択や使用が可能になる。

A




B

Fig.3-1.　サクラマスの口腔形状.

A：開口時の口腔形状. B：閉口時の口腔形状.

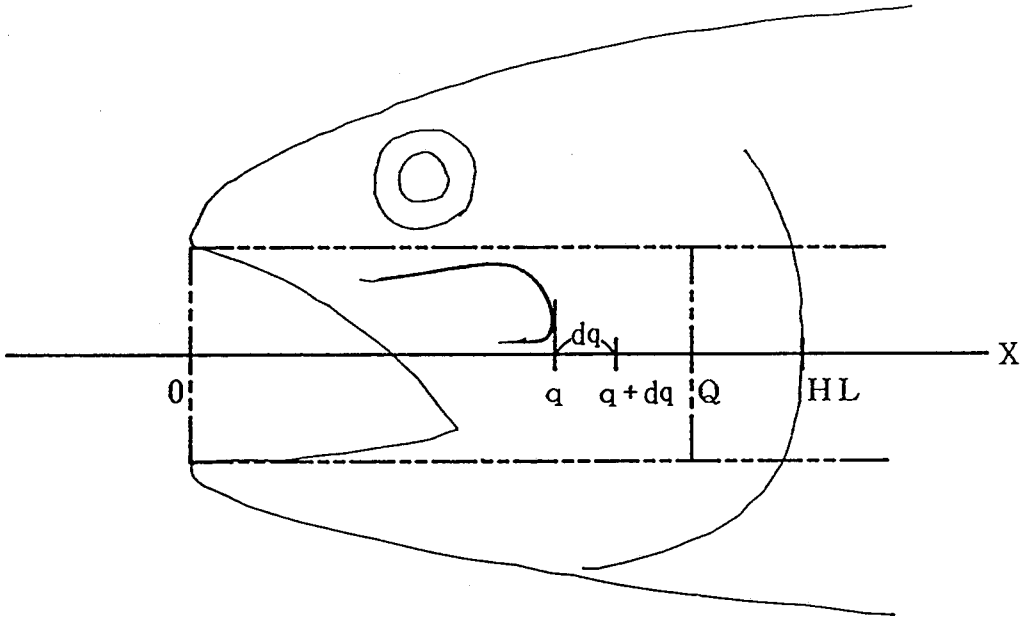



Fig.3-2.　釣針の入り難さの確率についての座標系.
q：吻端からの距離. dq：微小距離. Q：口腔長. HL：頭長.

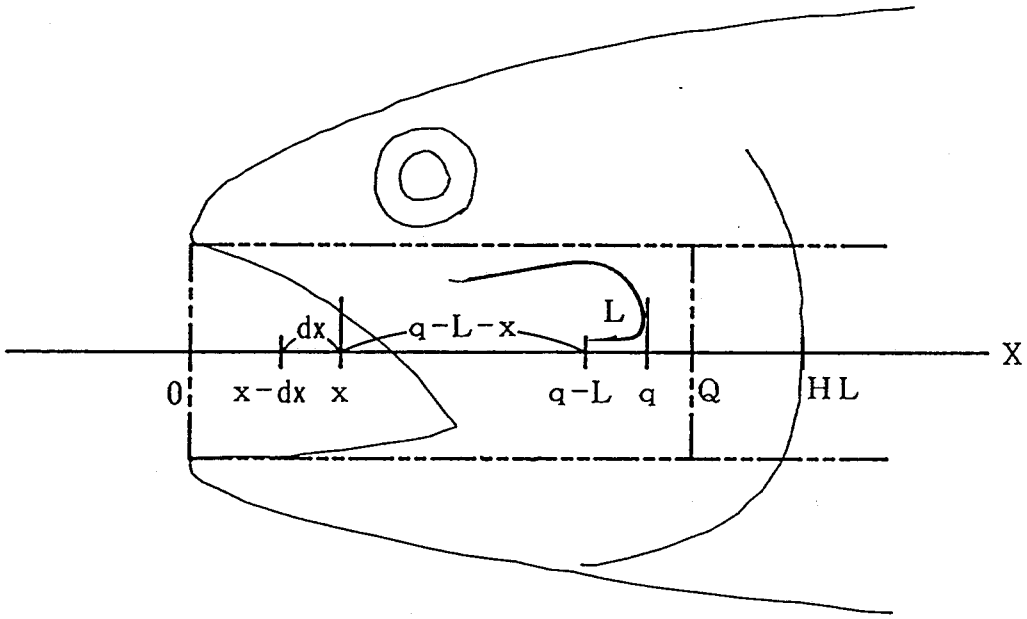



Fig.3-3.　針がかりの確率についての座標系.
x：吻端からの距離. dx：微小距離. q：釣針が口腔内に入った距離. L：釣針の先高さ. Q：口腔長. HL：頭長.

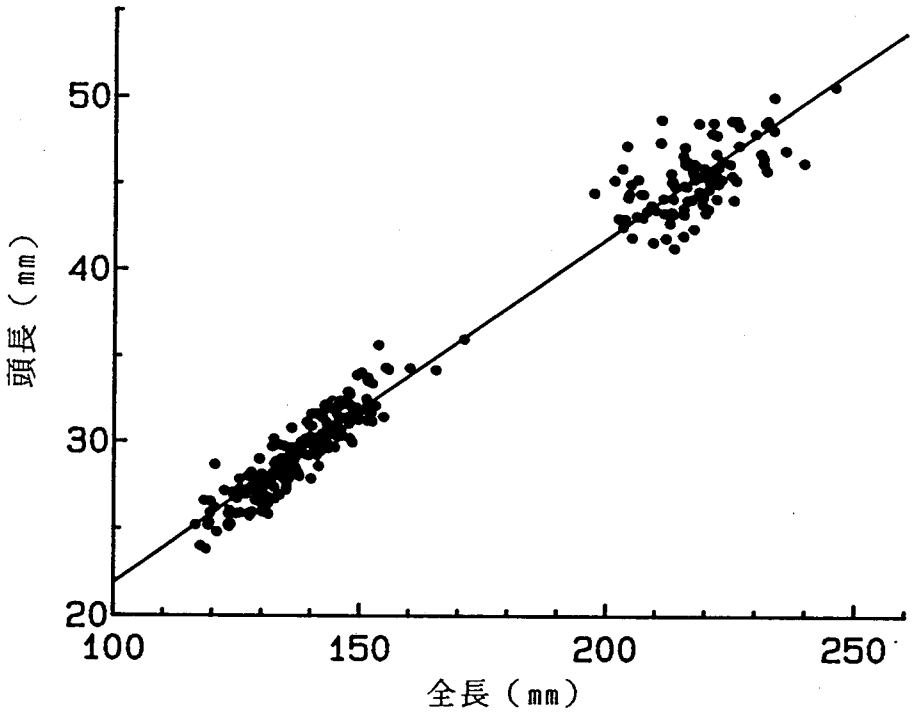



Fig.3-4.　実験に使用したサクラマスの全長と頭長の関係.

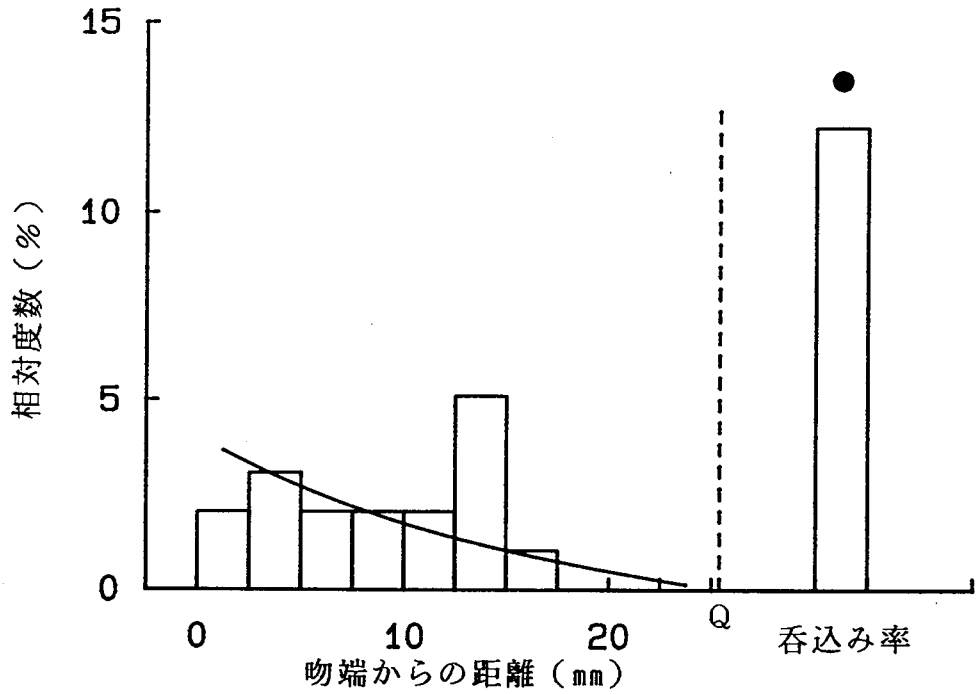



Fig.3-5. 体軸に投影した袖形 0.3 号釣針の針がかり位置の相対度数分布. 曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果. 破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

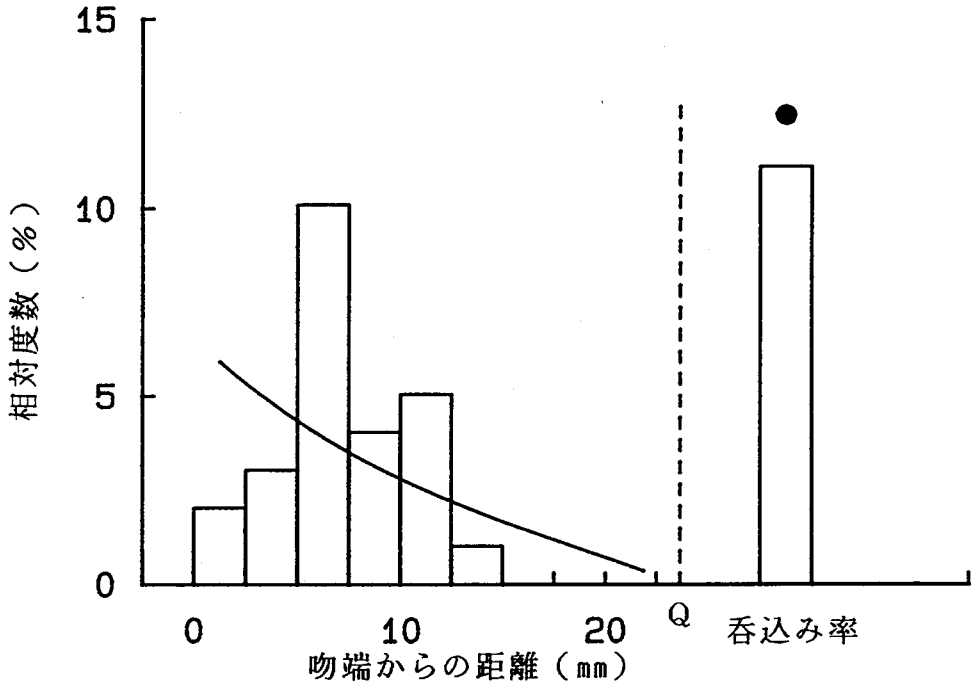



Fig.3-6. 体軸に投影した袖形 0.8 号釣針の針がかり位置の相対度数分布. 曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果. 破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

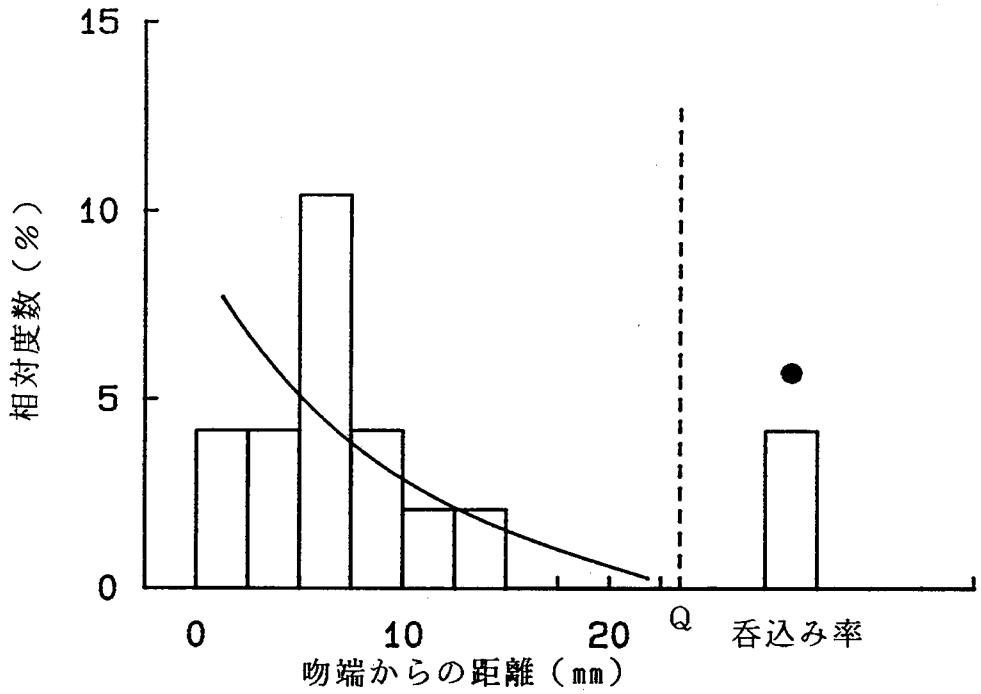



Fig.3-7. 体軸に投影した袖形 2 号釣針の針がかり位置の相対度数分布.
曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果.
破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

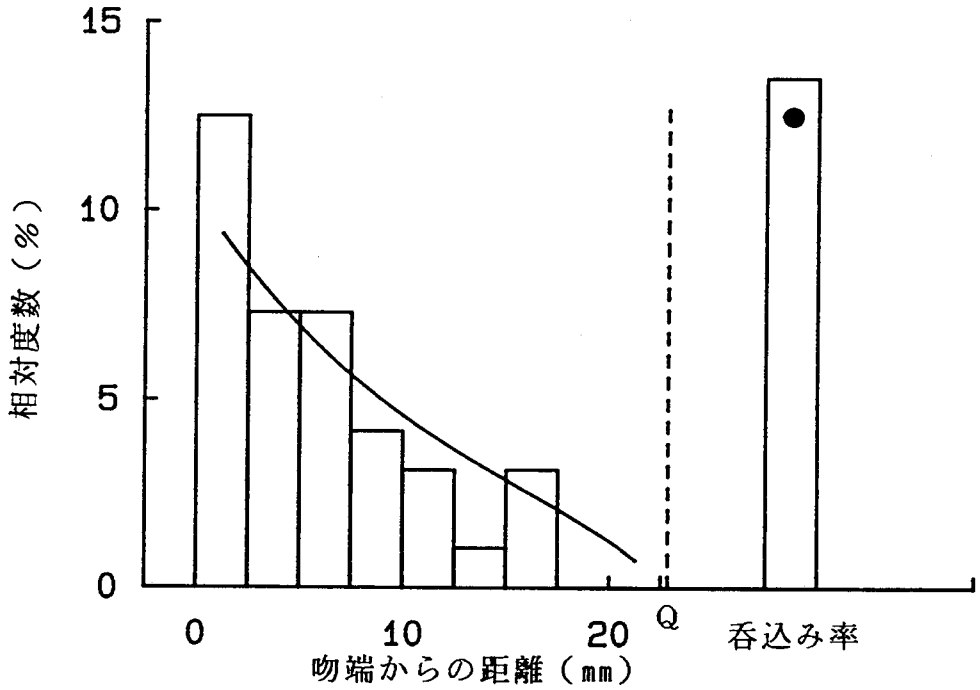



Fig.3-8. 体軸に投影した袖形 3 号釣針の針がかり位置の相対度数分布.
曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果.
破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

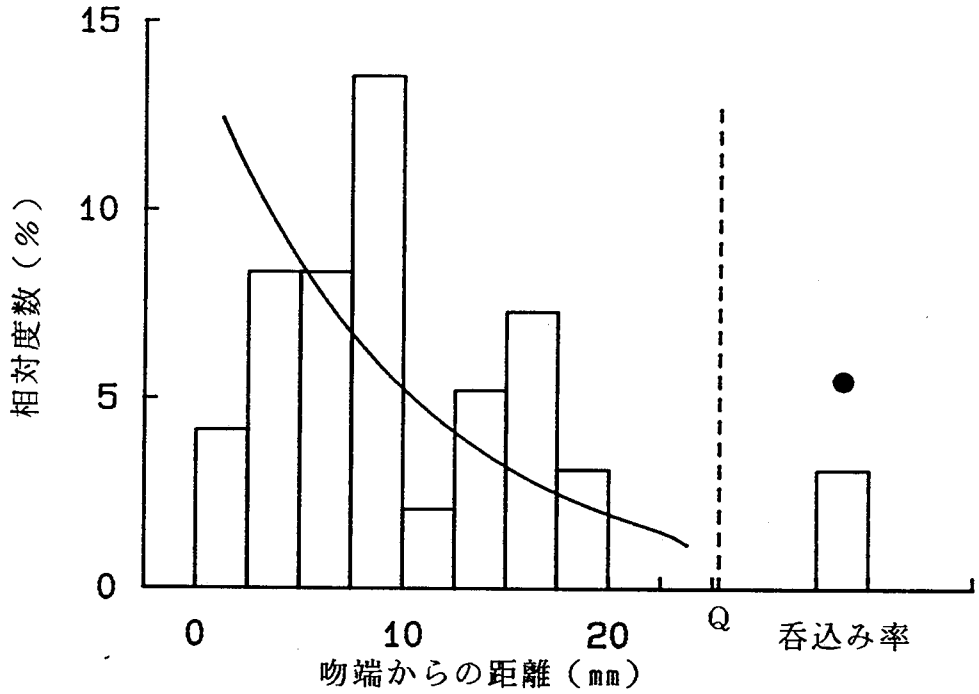



Fig.3-9. 体軸に投影した袖形 5 号釣針の針がかり位置の相対度数分布.
曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果.
破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

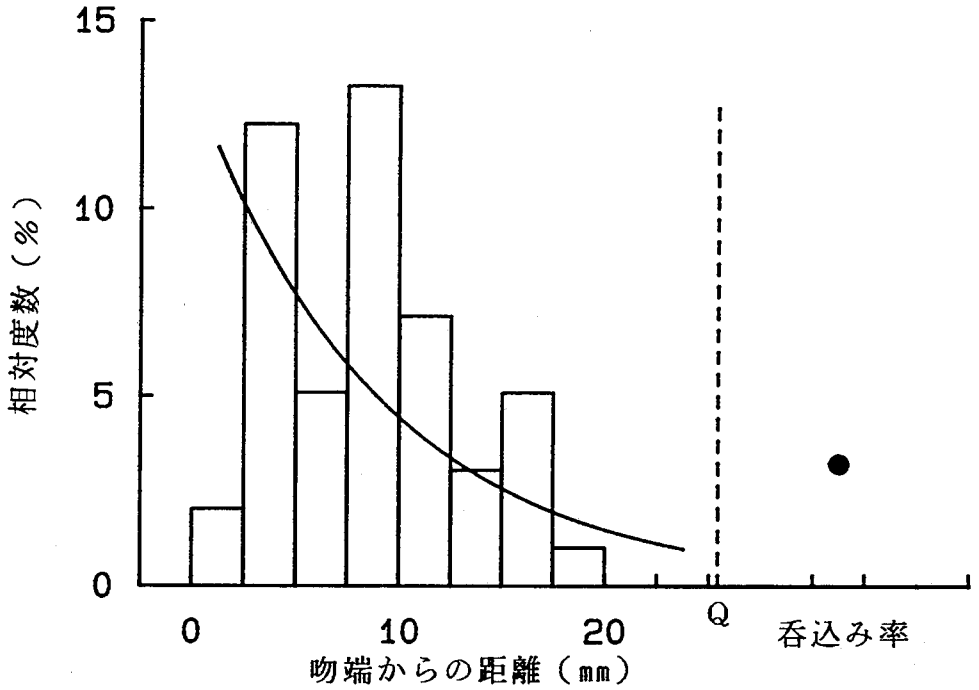



Fig.3-10. 体軸に投影した袖形 9 号釣針の針がかり位置の相対度数分布.
曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果.
破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

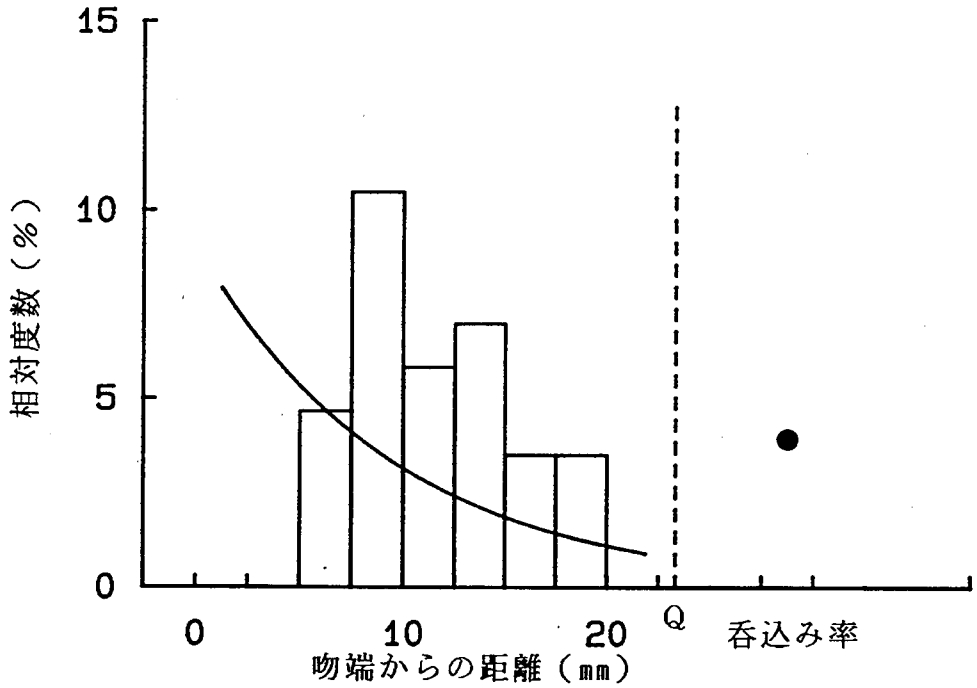



Fig.3-11. 体軸に投影した袖形 13 号釣針の針がかり位置の相対度数分布. 曲線：針がかり位置分布の計算結果. ●：呑込み確率の計算結果. 破線：食道入口の位置. Q：口腔長.

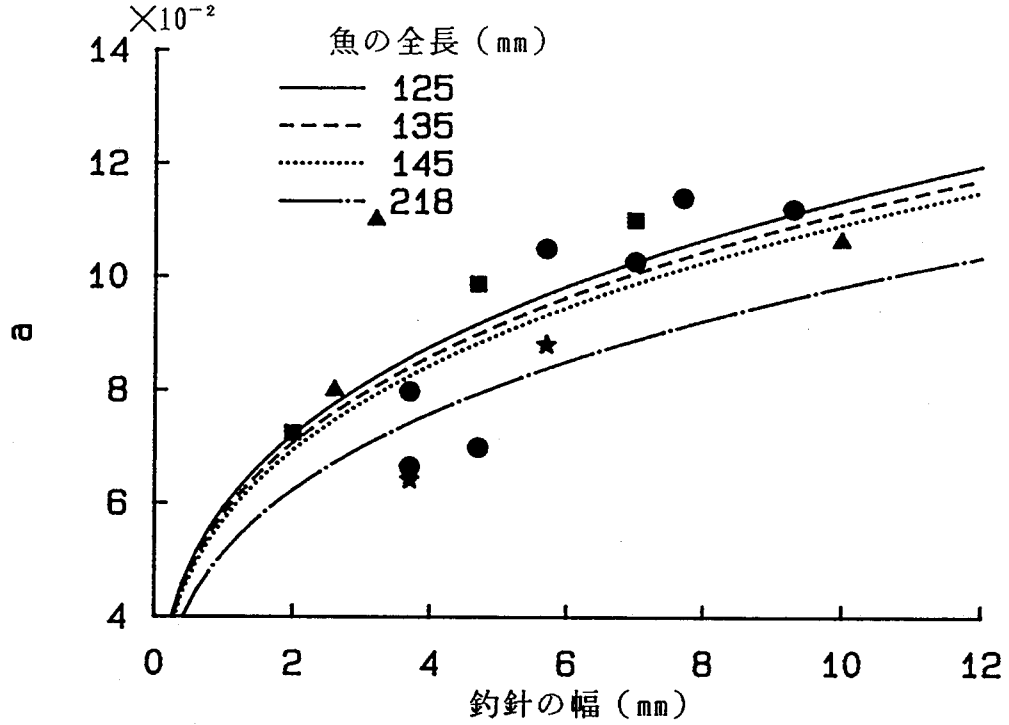



Fig.3-12. 釣針の幅および魚の全長と入り難さの係数 a との関係.
曲線：魚の全長を一定とし，釣針の幅を変えて描いた重回帰曲線.
サクラマスの平均体長の階級（●：120～130 mm, ▲：130～140 mm, ■：140～150 mm, ★：217～218 mm）.

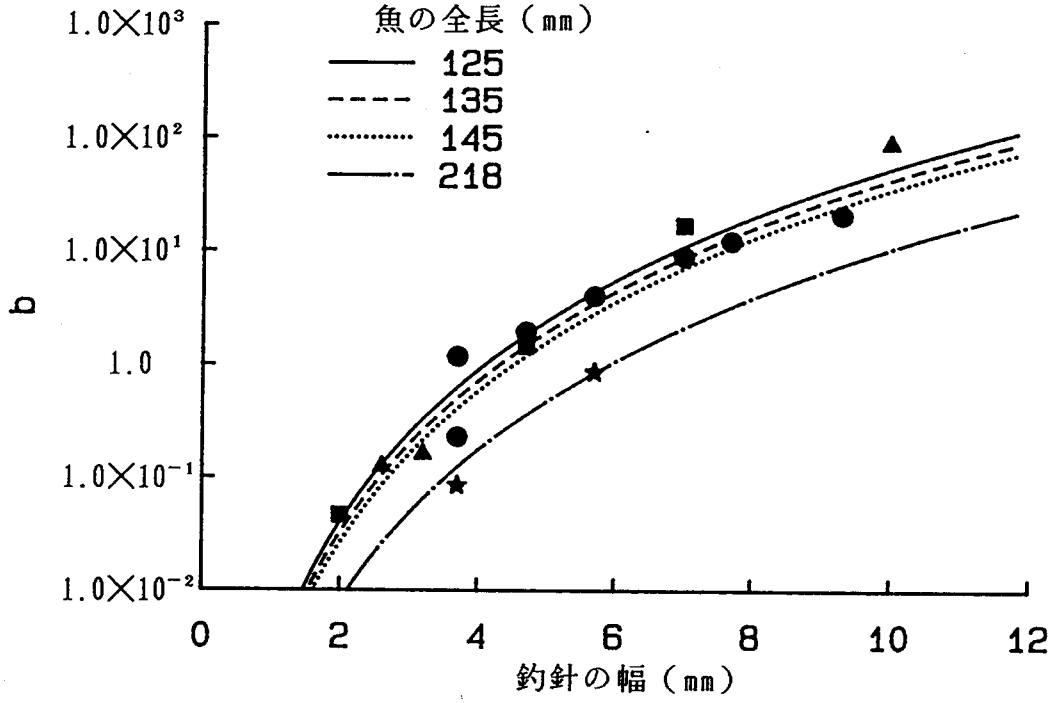



Fig.3-13. 釣針の幅および魚の全長と針がかりの係数 b との関係.
曲線：魚の全長を一定とし，釣針の幅を変えて描いた重回帰曲線.
サクラマスの平均体長の階級（●：120～130 mm, ▲：130～140 mm, ■：140～150 mm, ★：217～218 mm）.

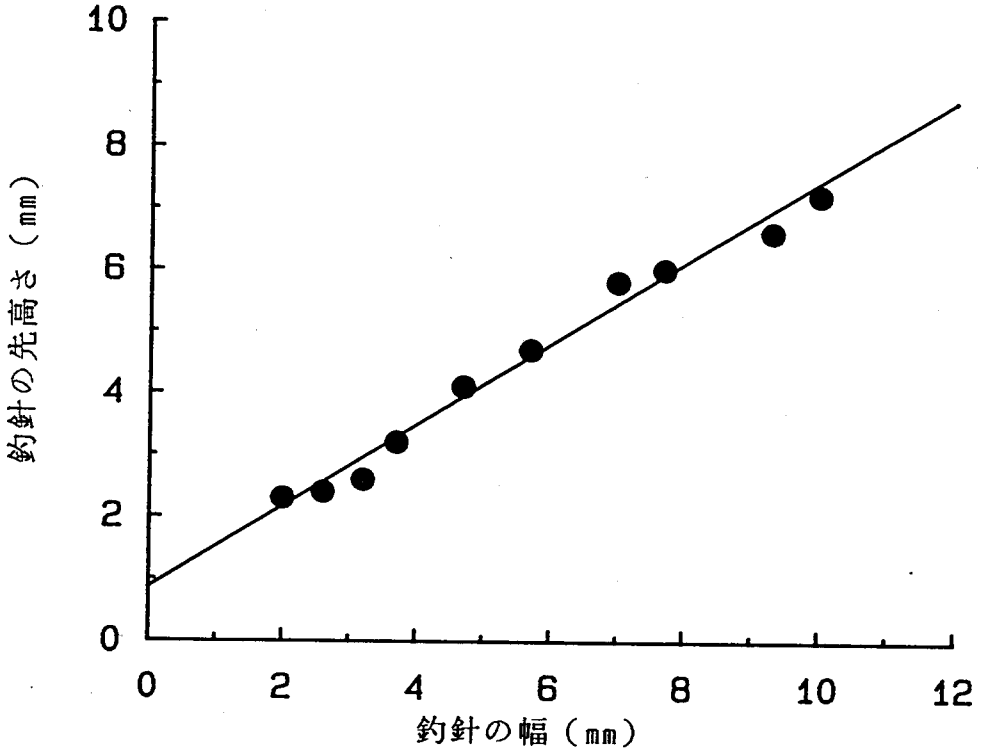



Fig.3-14.　袖形釣針の幅に対する先高さの関係.

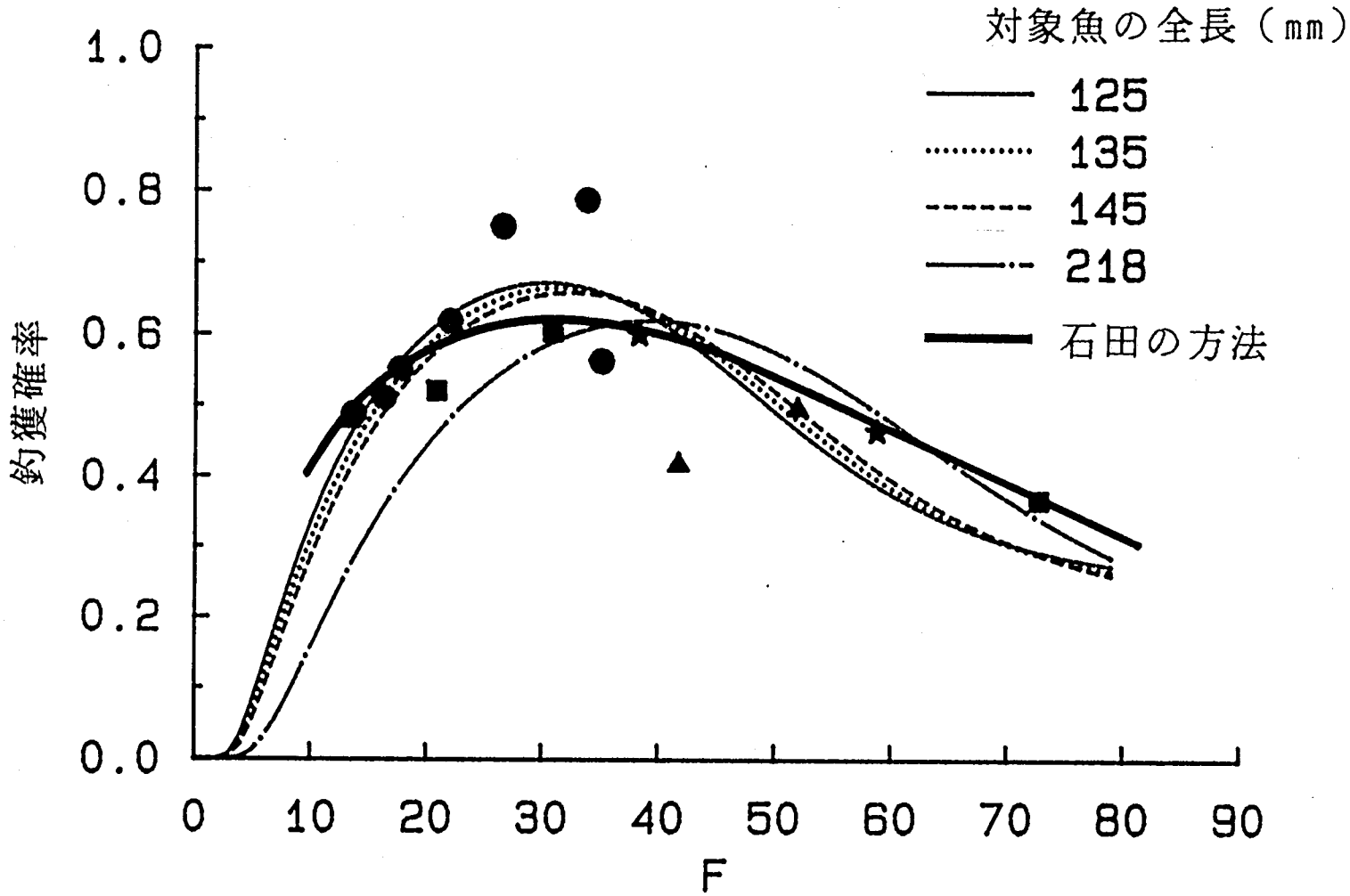



Fig.3-15. F 値に対する袖形釣針の漁獲選択性曲線.
F：魚の全長(mm)／釣針の幅(mm). サクラマスの平均体長の階級（●：120～130 mm, ▲：130～140 mm, ■：140～150 mm, ★：217～218 mm）.

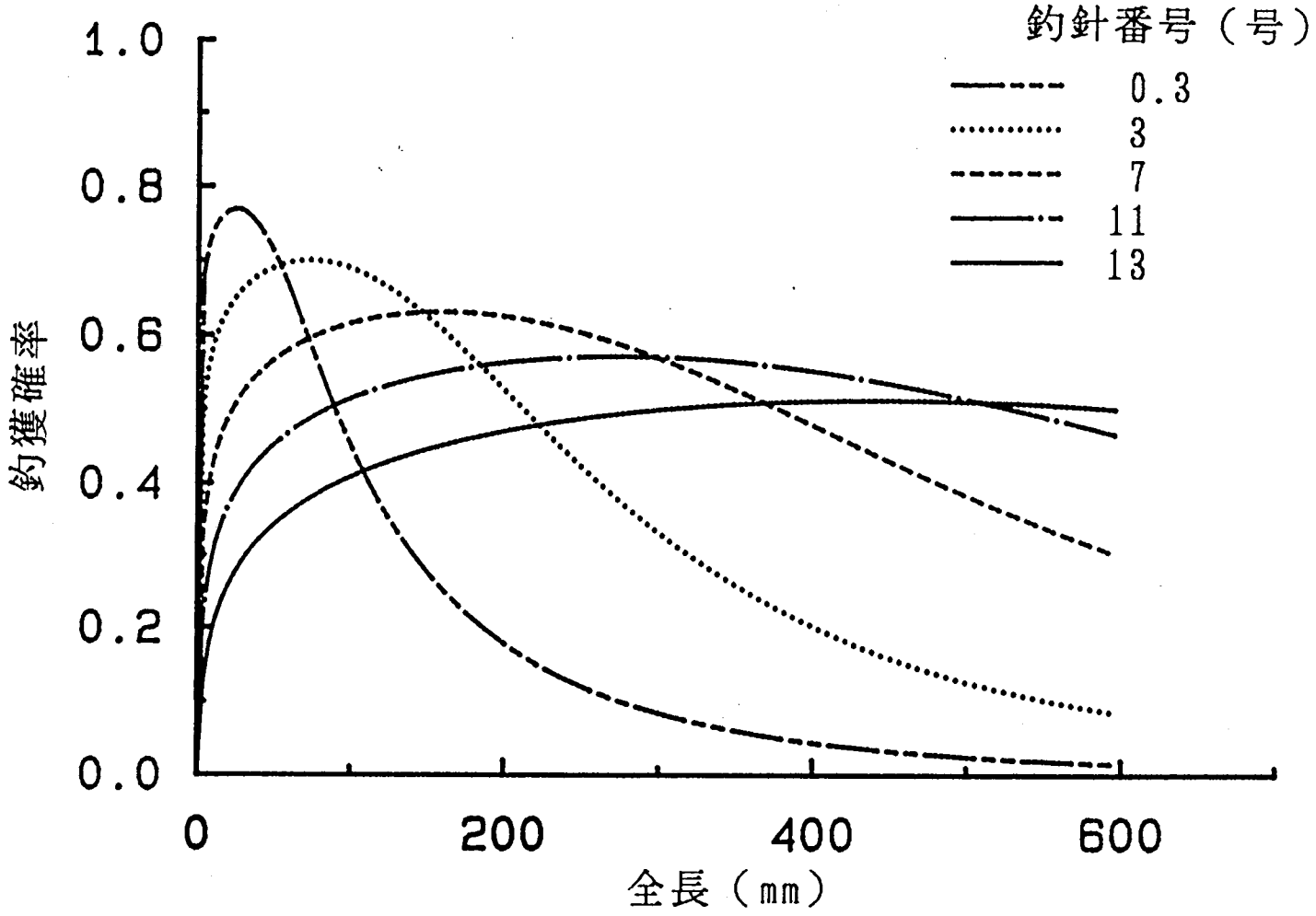



Fig.3-16. 袖形釣針の選択性曲線（対象魚：サクラマス）.
（釣針の幅(mm)：釣針番号(号)，2.0：0.3，3.7：3，5.7：7，
7.7：11，10.0：13）.

Table 3-1. 各実験の条件

| 実験番号 | 釣針番号(号) | 釣針の幅(mm) | 釣針の先高さ(mm) | ハリス番号(号) | 実験魚の全長(mm) 平均 | 標準偏差 | 水温(°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.3 | 2.0 | 2.3 | 0.4 | 145.5 | 6.2 | 19 |
| 2 | 0.8 | 2.6 | 2.4 | 0.4 | 134.9 | 5.8 | 19 |
| 3 | 2 | 3.2 | 2.6 | 0.4 | 133.5 | 5.9 | 19 |
| 4 | 3 | 3.7 | 3.2 | 0.4 | 129.9 | 5.9 | 19 |
| 5 | 5 | 4.7 | 4.1 | 0.8 | 145.1 | 6.0 | 19 |
| 6 | 9 | 7.0 | 5.8 | 1.5 | 145.8 | 6.7 | 18 |
| 7 | 13 | 10.0 | 7.2 | 2 | 132.9 | 5.2 | 18 |
| 8 | 3 | 3.7 | 3.2 | 0.4 | 125.1 | 9.9 | 14 |
| 9 | 5 | 4.7 | 4.1 | 0.8 | 124.7 | 10.2 | 14 |
| 10 | 7 | 5.7 | 4.7 | 1 | 125.7 | 9.5 | 14 |
| 11 | 9 | 7.0 | 5.8 | 1.5 | 123.7 | 10.4 | 14 |
| 12 | 11 | 7.7 | 6.0 | 1.5 | 125.2 | 9.9 | 14 |
| 13 | 12 | 9.3 | 6.6 | 2 | 127.1 | 9.7 | 14 |
| 14 | 3 | 3.7 | 3.2 | 0.4 | 217.4 | 8.9 | 14 |
| 15 | 7 | 5.7 | 4.7 | 1 | 218.3 | 7.9 | 13 |

Table 3-2. 各実験における係数 a, b の推定値と呑込み確率, 釣獲確率

| 実験番号 | a | b | 呑込み率 | 呑込み確率 | $\chi^2$ *1 | 釣獲率 | 釣獲確率 | 試行回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $7.24\times10^{-2}$ | $4.62\times10^{-2}$ | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.37 | 0.36 | 98 |
| 2 | $7.99\times10^{-2}$ | $1.24\times10^{-1}$ | 0.11 | 0.12 | 0.17 | 0.49 | 0.50 | 99 |
| 3 | $1.10\times10^{-1}$ | $1.60\times10^{-1}$ | 0.04 | 0.06 | 0.43 | 0.42 | 0.45 | 96 |
| 4 | $7.98\times10^{-2}$ | $2.29\times10^{-1}$ | 0.14 | 0.13 | 0.09 | 0.56 | 0.57 | 96 |
| 5 | $9.87\times10^{-2}$ | 1.46 | 0.03 | 0.05 | 1.03 | 0.60 | 0.62 | 96 |
| 6 | $1.10\times10^{-1}$ | $1.69\times10$ | 0.00 | 0.03 | 3.26 | 0.52 | 0.52 | 98 |
| 7 | $1.06\times10^{-1}$ | $8.96\times10$ | 0.00 | 0.04 | 3.50 | 0.48 | 0.46 | 86 |
| 8 | $6.65\times10^{-2}$ | 1.18 | 0.22 | 0.19 | 0.85 | 0.79 | 0.77 | 94 |
| 9 | $6.99\times10^{-2}$ | 1.96 | 0.00 | 0.16 | 17.71 | 0.75 | 0.72 | 92 |
| 10 | $1.05\times10^{-1}$ | 4.03 | 0.01 | 0.06 | 3.72 | 0.62 | 0.59 | 89 |
| 11 | $1.03\times10^{-1}$ | 8.96 | 0.01 | 0.06 | 3.62 | 0.55 | 0.54 | 89 |
| 12 | $1.14\times10^{-1}$ | $1.23\times10$ | 0.00 | 0.04 | 3.74 | 0.51 | 0.50 | 88 |
| 13 | $1.12\times10^{-1}$ | $2.09\times10$ | 0.00 | 0.04 | 3.41 | 0.49 | 0.47 | 84 |
| 14 | $6.42\times10^{-2}$ | $8.48\times10^{-2}$ | 0.10 | 0.08 | 1.09 | 0.46 | 0.46 | 97 |
| 15 | $8.80\times10^{-2}$ | $8.62\times10^{-1}$ | 0.01 | 0.02 | 0.81 | 0.60 | 0.60 | 95 |

*1 $\chi^2(1;0.05)=3.84$, $\chi^2(1;0.01)=6.63$ .

Table 3-3. 係数 a, b を釣針の幅と平均全長の重回帰式で求めた場合の呑込み確率と釣獲確率

| 実験番号 | 釣針番号（号） | 釣針の幅（mm） | 平均全長（mm） | a | b | 呑込み率 | 呑込み確率 | $\chi^2$ *1 | 釣獲率 | 釣獲確率 | $\chi^2$ *1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.3 | 2.0 | 145.5 | $6.93\times10^{-2}$ | $2.59\times10^{-2}$ | 0.12 | 0.15 | 0.47 | 0.37 | 0.29 | 2.86 |
| 2 | 0.8 | 2.6 | 134.9 | $7.61\times10^{-2}$ | $1.05\times10^{-1}$ | 0.11 | 0.14 | 0.59 | 0.49 | 0.48 | 0.08 |
| 3 | 2 | 3.2 | 133.5 | $8.09\times10^{-2}$ | $2.73\times10^{-1}$ | 0.04 | 0.12 | 5.76 | 0.42 | 0.61 | 14.56 |
| 4 | 3 | 3.7 | 129.9 | $8.49\times10^{-2}$ | $5.66\times10^{-1}$ | 0.14 | 0.11 | 0.65 | 0.56 | 0.66 | 3.85 |
| 5 | 5 | 4.7 | 145.1 | $8.82\times10^{-2}$ | 1.19 | 0.03 | 0.07 | 2.62 | 0.60 | 0.66 | 1.20 |
| 6 | 9 | 7.0 | 145.8 | $9.86\times10^{-2}$ | 6.96 | 0.00 | 0.05 | 4.72 | 0.52 | 0.58 | 1.23 |
| 7 | 13 | 10.0 | 132.9 | $1.12\times10^{-1}$ | $4.50\times10$ | 0.00 | 0.03 | 2.94 | 0.48 | 0.44 | 0.60 |
| 8 | 3 | 3.7 | 125.1 | $8.57\times10^{-2}$ | $6.32\times10^{-1}$ | 0.22 | 0.11 | 10.92 | 0.79 | 0.66 | 6.40 |
| 9 | 5 | 4.7 | 124.7 | $9.18\times10^{-2}$ | 1.86 | 0.00 | 0.09 | 9.23 | 0.75 | 0.66 | 3.10 |
| 10 | 7 | 5.7 | 125.7 | $9.67\times10^{-2}$ | 4.30 | 0.01 | 0.07 | 5.17 | 0.62 | 0.63 | 0.03 |
| 11 | 9 | 7.0 | 123.7 | $1.03\times10^{-1}$ | $1.13\times10$ | 0.01 | 0.06 | 3.59 | 0.55 | 0.57 | 0.08 |
| 12 | 11 | 7.7 | 125.2 | $1.05\times10^{-1}$ | $1.67\times10$ | 0.00 | 0.05 | 4.82 | 0.51 | 0.53 | 0.16 |
| 13 | 12 | 9.3 | 127.1 | $1.11\times10^{-1}$ | $3.71\times10$ | 0.00 | 0.04 | 3.54 | 0.49 | 0.46 | 0.25 |
| 14 | 3 | 3.7 | 217.4 | $7.43\times10^{-2}$ | $1.24\times10^{-1}$ | 0.10 | 0.05 | 5.72 | 0.46 | 0.49 | 0.28 |
| 15 | 7 | 5.7 | 218.3 | $8.38\times10^{-2}$ | $8.48\times10^{-1}$ | 0.01 | 0.03 | 1.21 | 0.60 | 0.62 | 0.14 |

*1 $\chi 2(1;0.05)=3.84$, $\chi 2(1;0.01)=6.63$ .

## 4. 総合考察

本論で得られた一本の釣竿による漁獲過程は単純化した竿釣の漁獲過程である。その漁獲過程の特徴は，漁獲過程が部分過程から構成されていることと，この部分過程が魚の摂餌行動の変化によって生じることである。

かつお1本釣やさばはね釣の実操業において，単純化した竿釣と同じ現象が基本的に起こっているとすれば，部分過程が進むごとに対象魚の摂餌行動に変化が起こり，漁獲性能が段階的に落ちていくことになる。したがって，漁獲性能を評価する場合，漁獲過程の全体よりも，その初期における対象魚の摂餌行動が活発な時点の性能に重点をおくべきである。一本釣において，漁獲過程における魚の摂餌行動や内部状態の変化と反応時間，釣獲率の変化との関係が明らかになれば，その漁獲過程を予測することができ，1操業において合理的な終了時点を決定することが可能となる。また，この場合，同時に対象魚群量も推定される。

摂餌行動の変化にともなう反応時間や釣獲率の変化は，釣手，使用漁具，魚種によってさまざまに異なることが予想される。しかし，現状ではまだ反応時間，釣獲率はどのような要因が如何に作用しあって定まるものかまでは解明できなかった。魚の行動の変化は外部からの刺激と魚の内部状態に依存するものとした場合，釣の条件に

よって，魚の内部状態としてどのような要素を考え，それがどのような外部からの刺激の作用を受け，どのような行動を起させるのかを解析することは，今後の釣の漁獲過程のモデルを展開するために重要な問題である。

次に釣獲確率から推定される漁獲選択性曲線について検討する。釣獲確率のモデルには魚の特性を示す値として口腔長が，釣針の特性を示す先高さが変数として含まれている。ここで，サクラマスを対象にして得た袖形釣針を使用したときの係数 a，b を基にして，漁獲選択性曲線に対する口腔長と先高さの影響について検討する。結果の信頼性に問題が残るが，口腔長と体長の関係や釣針の幅と先高さの関係が変わっても，魚体長や釣針の大きさと係数 a，b との関係が変わらないものと仮定した。

全長に対する口腔長の比率がサクラマスに比較して小さい魚を対象にした場合と大きな比率の魚を対象にした場合の袖型釣針の選択性曲線をサクラマスを対象にした場合のものと比較して Fig.4-1 に示す。口腔長の比率が小さい魚の例にハモを，大きな比率の例としてクロソイを選んだ。これらの魚の口腔長と全長の比率がわからないので，ここでは頭長と全長の比率をその近似値とし，魚類図鑑[51]の図から求めることにした。前者の比率はサクラマスの約 0.8 倍の 1.6 であり，後者の比率は約 1.5 倍の 0.30 である。ほとんどの魚種の比率がこの範

囲内に含まれる。選択性曲線は 0.3 号釣針の場合のみ，全長 100 mm 以上で僅かに異なった。3 号以上の釣針では選択性曲線に全く差が見られない。この理由は小さな釣針はおもに呑込みによって漁獲しているが，大きな釣針は口腔に針がかりすることによって漁獲しているためであると考えられる。このため，クロソイのように口腔長が長くなって呑込みが起こり難くなると，小さい釣針は口腔には針がかりし難く，釣獲確率が低下する。この傾向は全長が大きくなるほど顕著に現れる。

釣針の形状は多種多様であるが，Fig.2-1 に示すように大きく角型，丸型，長型の 3 種類に分類される。この 3 種類の型の代表的な釣針は前者から袖形，伊勢尼形，白狐形であるとした。これらの型の違いによって釣針の幅と先高さの比率が異なっている。サクラマスを対象魚に想定して釣針の型別に選択性曲線を求め示したのが Fig.4-2 である。丸型の釣針は 3 つの中で最も先高さが低く，角型釣針は最も高いものである。先高さが低いほど釣獲確率の最大値が高くなっている。これは先高さが低いほど釣針の先が魚の口腔内に入りやすいため，生じた結果である。

同様にして，サクラマスを対象にしたときの袖形釣針と山女魚形釣針における選択性曲線を Fig.4-3 に示す。山女魚形釣針の形状は Fig.1-7 に示すように袖形釣針とよく似た形であるが，袖形釣針と比較して幅に対して先

高さが約 15 % ほど高くなっている。先高さが高い山女魚形釣針は全体的に釣獲確率が減少し，選択性曲線が若干下に平行移動した形となる。これは先高さの増加した分，口腔に入る可能性が減少するとともに，呑込みの可能性も減少したためである。山女魚形釣針は袖形よりもサクラマスに適するように作られいてるものであるから，このことは矛盾する結果を示すことになる。しかし，先高さが増加すると係数 b が大きくなり，針がかりしやすくなるとすれば，呑込みの可能性を少なくしつつ，釣獲確率を低下させない改良が行われたものと理解することができる。

釣針の漁獲選択性はこれまでに底曳網によって漁獲された体長組成と延縄によって漁獲された体長組成の比較することから求められたり，[31] 石田の方法を適用して求められたりしてきた。[33,34] 釣獲確率より推定される漁獲選択性曲線についてさらに検討するため，これらの漁獲選択性曲線と比較してみることが必要である。しかし，漁獲選択性曲線が求められている魚種について，まだ，釣針の入り難さの係数 a や針がかりの係数 b を求めるまでには至っていない。

魚体長や釣針の幅と釣針の入り難さの係数 a および針がかりの係数 b との関係が変わらないものとすれば，釣獲確率から推定した漁獲選択性曲線は口腔長を実際の 1.5 倍に見積ったとしても，変化するのは幅 2 mm の釣

針における大きな魚体長に対する部分である。また，釣針の形状が異なり先高さが変わっても釣針の幅が 10 mm を越える場合には選択性曲線が上下に平行移動するに過ぎないと考えられる。そこで，口腔長の近似値として頭長を用いて，石田の方法によって求められた漁獲選択性曲線と釣獲確率から推定した漁獲選択性曲線を比較した。対象魚のマハゼ，ワカサギ，マサバの全長と頭長の比および全長と体長，全長と尾叉長の比は魚類図鑑[51]の図より求めた。なお，ここでは釣獲確率が漁獲効率に比例するものとし，その最大値を 1.0 として相対的効率を求めた。石田の方法によって求めたマハゼ延縄における袖形 4 号釣針の選択性曲線[33]と釣獲確率より推定した選択性曲線を比較したものが Fig.4-4 である。釣獲確率による選択性曲線は石田の方法による選択性曲線と比較して，選択性が非常に鈍くなっている。最大効率を示す全長約 100 mm は若干小さな魚の側にずれている。ワカサギを対象にした竿釣における袖形 2 号釣針の選択性曲線[34]と比較した結果を Fig.4-5 に示す。この場合も，釣獲確率から求めた選択性曲線は石田の方法によって求めた選択性曲線と比較して選択性が非常に鈍いものである。また，最大効率を示す体長は小さい体長の側にある。しかし，60 mm 以上の体長範囲では同様な傾向が認められる。さばはね釣におけるサバ釣針形 16 号の選択性曲線[52]と比較した結果を示したものが Fig.4-6 である。同様に釣

獲確率から求めた選択性曲線は石田の方法によって求めた選択性曲線と比べ非常に選択性が鈍いものである。この場合には選択性曲線の最大効率の尾叉長は大きい魚の側にずれている。このように釣獲確率から推定した選択性曲線は，石田の方法によって求めた選択性と比較して，その最大効率の魚体長は概ね一致する傾向を示すことがわかった。しかし，その選択性は非常に鈍いものであることが認められた。特に小さい魚体長の範囲の効率が高く推定されている。この原因を特定することはできないが，魚種や釣針が異なっても係数 a，b と魚体長および釣針の幅との関係を同一としたこと，石田の方法によって選択性曲線を求める場合には海や湖で漁獲試験をおこなっていること，あるいは餌を巡って競合する場合には魚体長の大きなものが選択的に漁獲されると言われている[53,54]こと，選択性に対する釣餌の大きさや形状の影響などが関係しているものと考えられる。

ここで釣獲確率を適用できる魚の全長の範囲について検討する。これまで釣獲確率を求めるときに釣針が口の中に入って行く距離の限界を定めていなかった。食道の長さや全長に対するサクラマスの頭長の比率を考慮し，釣針が入って行く距離の限界を全長の4分の1と仮定する。この距離が口腔長 Q と先高さ L との和の長さより短くなると釣針の「さき」は食道に入らなくなる。したがって，

$$TL < 4(Q+L) \qquad (4-1)$$

となる全長では呑込み確率が 0 となり，この全長よりも小さな範囲では釣獲確率を適用することはできない。また，釣針が入って行く距離の限界が先高さ L よりも短くなると，釣針の「さき」は口腔内に入らなくなる。したがって，

$$TL < 4L \qquad (4-2)$$

となる全長では釣獲確率は 0 となる。この釣獲確率を適用できる魚の全長の下限を Fig.3-16 に記入したものが Fig.4-7 である。図中の破線は呑込みが生じなくなる全長から漁獲できなくなる全長までの範囲の選択性を仮に直線とおいて示したものである。また，体長の大きい側では釣針の強度から体長範囲の上限が決定される。これらを考慮すると，小さい釣針の適用範囲は大きな釣針の適用範囲より狭いものとなり，選択性の鋭さは小さい釣針でさらに鋭くなるものと考えられる。一方，大きな釣針では小さな魚を確実に漁獲しないが，漁獲可能な大きさの魚については選択性が鈍い傾向が見られる。このような漁獲選択性は資源保護を進める上で非常に都合のよい特性である。

同様にして，Fig.4-5 に示した頭長の比率がサクラマスとほとんど同じであるワカサギに対する袖形釣針の漁獲選択性に，釣獲確率を適用できる全長の下限を記入したものが Fig.4-8 である。破線は仮に直線で想定した選

択性である。この場合，石田の方法によって求められた漁獲選択性にかなりよい一致をしている。呑込みが起こらなくなる下限体長と釣針の「さき」が口腔内に入らなくなる下限体長について考え，この2点間を近似的に直線で結び選択性を表したが，今後このような体長範囲における漁獲選択性を表すモデルを作る必要がある。

ここでは係数 a，b が変化しないものとして論を進めた。しかし，釣獲確率から漁獲選択性曲線を求めるためには，係数 a，b と対象魚の全長，釣針の幅との関係が明らかでなければならない。本研究ではこれらの関係を単純化した竿釣の実験によって得たが，魚の口腔の形態や摂餌行動，釣針の形状の違いなどを含めた詳細な関係までは，解明することができなかった。対象魚の全長や釣針の幅が同一であっても，口腔の形態や釣針の形状が変われば，係数 a，b は異なる可能性がある。今後，係数 a，b を正確に推定する方法を考え，釣針の形状や魚種が異なるときの係数を求めることによって，釣針形状，魚種別により正確な漁獲選択性曲線を求めることができるようになる。一方，係数 a，b と釣針の形状，口腔の形態や行動の要素との関係および釣餌の影響について検討することも重要な課題である。

最適な釣針の大きさは評価する条件によって異なる。評価の条件は1つには資源保護が考えられる。この場合，最適な釣針の大きさは漁獲対象以下の大きさの魚に対し

て最も釣獲確率が低くなるように設定することである。例えば，本研究で用いた袖型釣針でサクラマスを漁獲する場合について適用し，(3-19) 式より全長範囲ごとの平均釣獲確率を求め整理して Table 4-1 に示す。ここでは 400 mm 以上の魚は少ないものとして，漁獲対象とすべき全長範囲を 200～400 mm として求めた。漁獲対象外の魚に対して最小平均釣獲確率となる釣針の大きさはここに上げた5種類の釣針の大きさの中では幅 10 mm の 13 号釣針である。したがって，資源保護を主眼とする場合には 13 号釣針が最適と判断される。

漁獲能率を優先して考えた最適な釣針の大きさは漁獲対象とする魚の全長の範囲にわたって最も釣獲確率の高い大きさの釣針となる。この場合，最適な釣針は幅 5.7～7.7 mm の 7～11 号釣針となる。

また，漁獲金額をもって評価する場合には，各体長の商品価値に応じた重み付けや，対象魚の体長分布も考慮して評価する条件を設定し，釣針の大きさを決定しなければならない。

近年では活魚の需要が増えていることから，魚をできるだけ損傷しないように漁獲することが望まれている。釣によって漁獲された魚は呑込みやえらに針がかりしなければ，死亡することは少ない。[55] このような場合には，口腔の奥に入り難い大きな釣針を使用するべきである。

水槽内という限定された空間に存在する対象魚を単純

化した竿釣を行うことによって得た漁獲特性について分析を行った。したがって，このまますぐに実際の操業時の漁獲特性について言及することはできない。実際の漁獲現象は様々な要因が複雑に絡み合って起こってくる。今後はより実際の釣の条件に対応できるようにモデルを利用する方法を考え，反応時間，釣獲率，係数 a，係数 b を正確に推定できるようにし，よりさまざまな釣の条件における漁獲特性を解析しなければならない。漁獲特性を明らかにすることは，漁業管理の科学的な根拠を与えるためにも，今後ますます必要とされるものである。

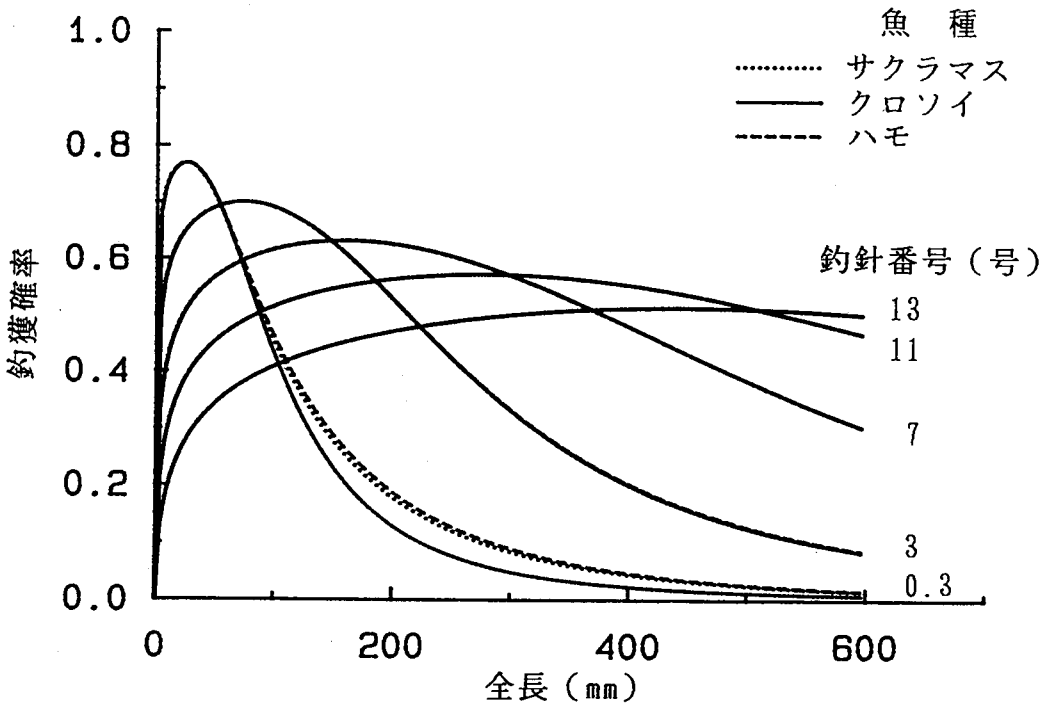



Fig.4-1.　袖形釣針の選択性曲線（対象魚：サクラマス，クロソイ，ハモ）．

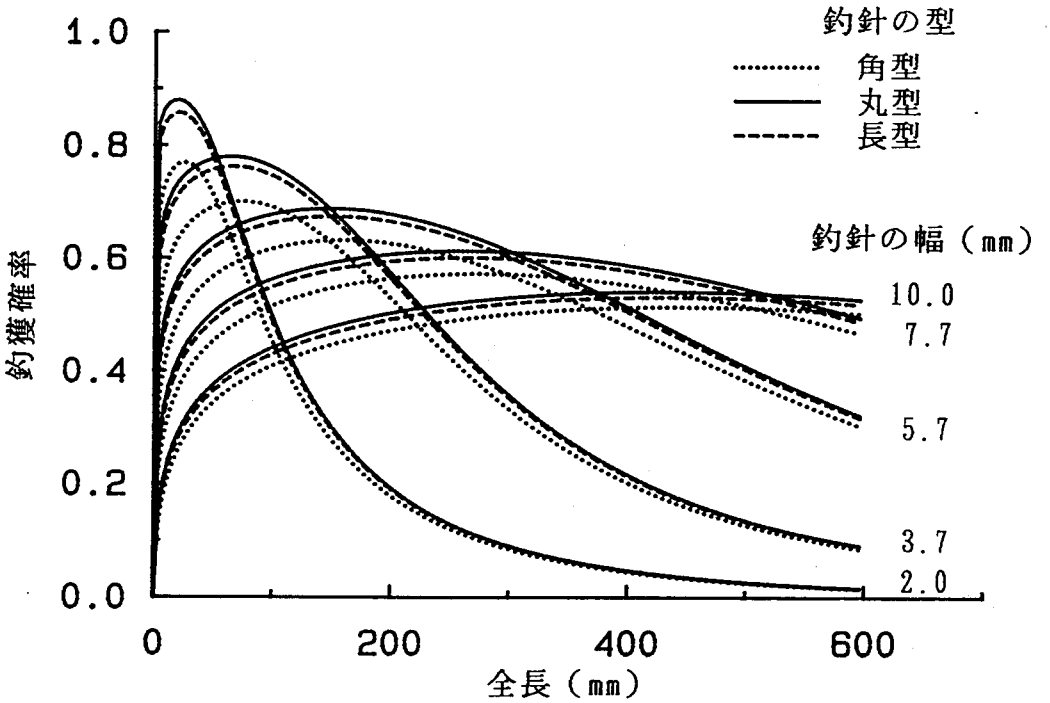



Fig.4-2.　角型，丸型，長型釣針の選択性曲線（対象魚：サクラマス）．

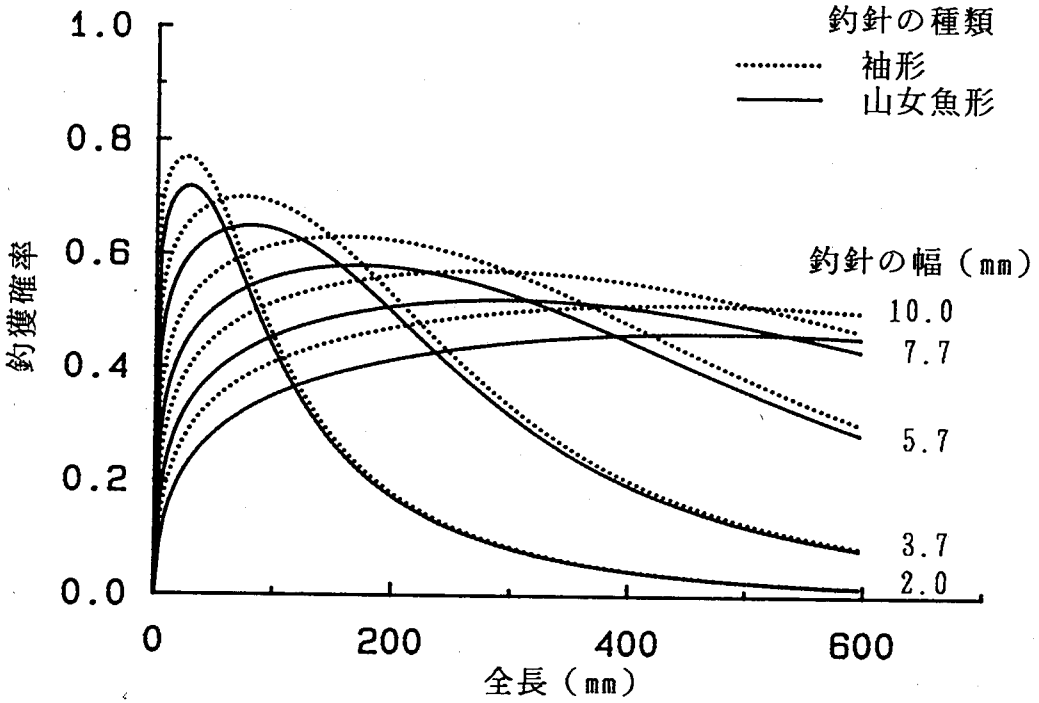



Fig.4-3.　袖形，山女魚形釣針の選択性曲線（対象魚：サクラマス）．

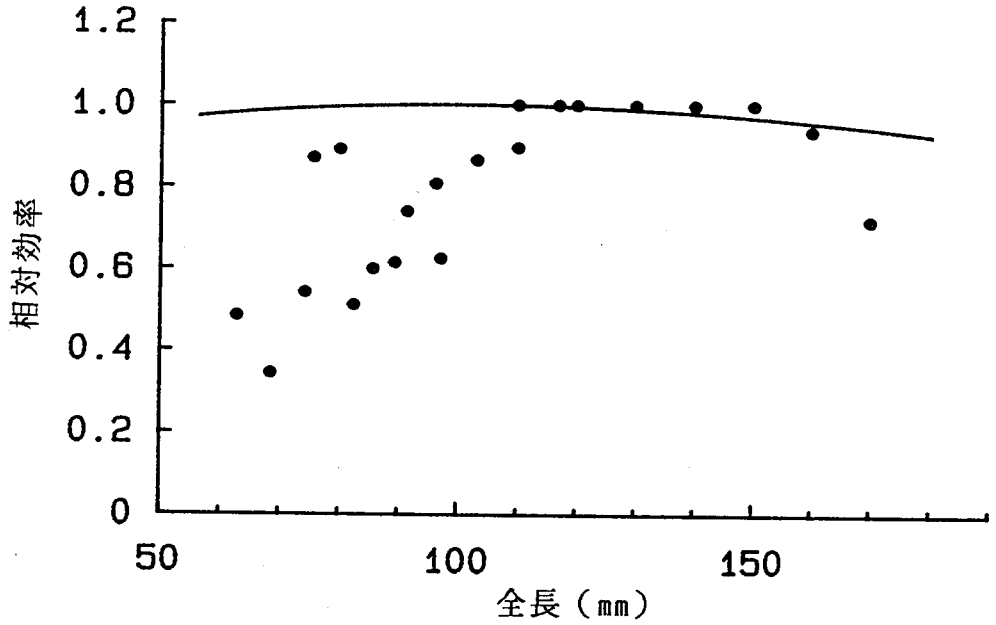



Fig.4-4. 石田の方法によって求めたマハゼ延縄における袖形 4 号釣針の選択性（●：小池ら，1968）と釣獲確率から推定した選択性曲線.

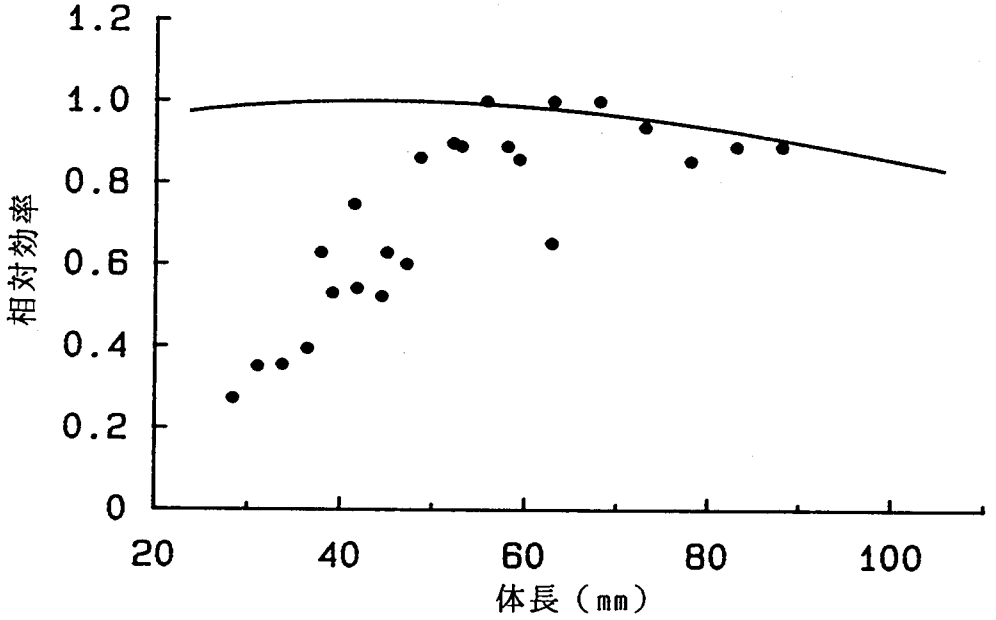



Fig.4-5. 石田の方法によって求めたワカサギ竿釣における袖形 2 号釣針の選択性（●：小池ら，1970）と釣獲確率から推定した選択性曲線.

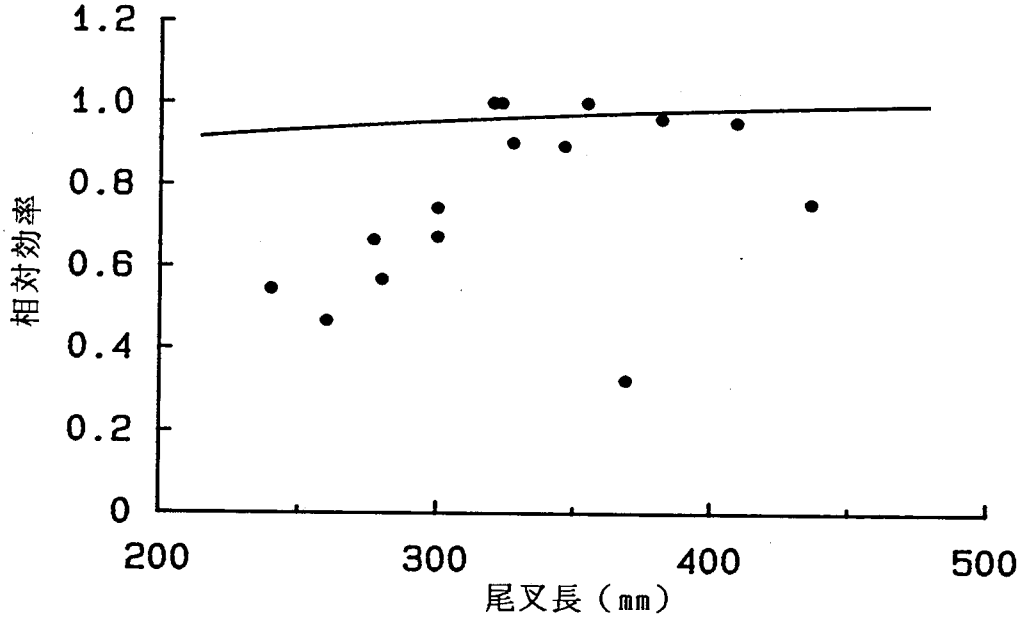



Fig.4-6. 石田の方法によって求めたサバはね釣におけるさば釣針形 16 号釣針の選択性（●：神田ら，1978）と釣獲確率から推定した選択性曲線.

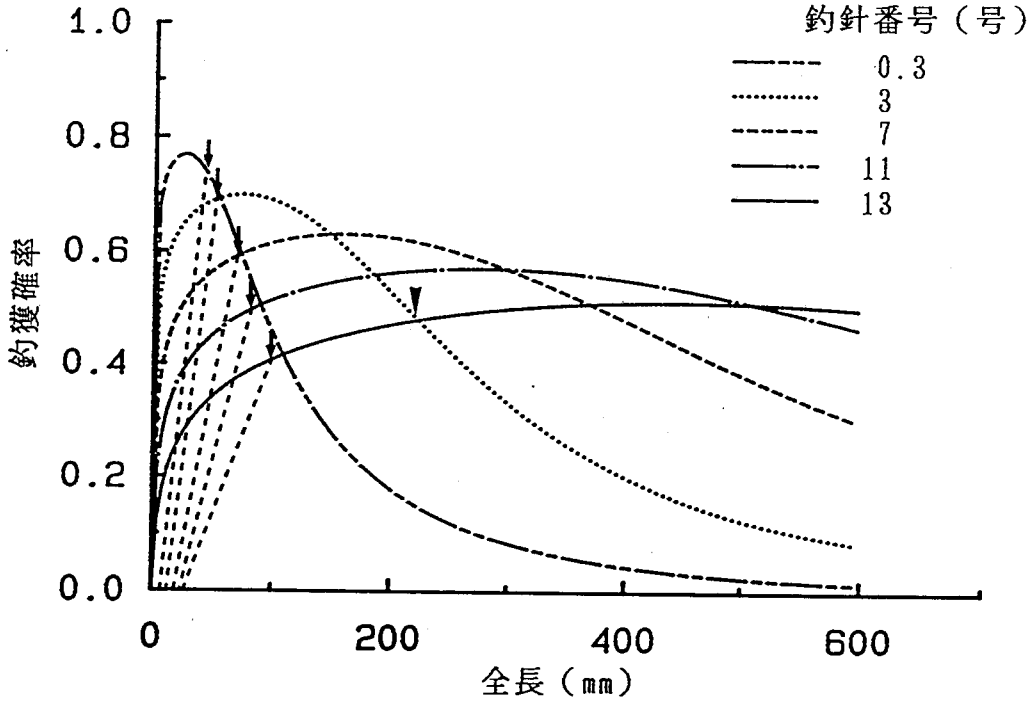



Fig.4-7. 袖形釣針の選択性曲線（対象魚：サクラマス）．
（釣針の幅(mm)：釣針番号(号)，2.0：0.3，3.7：3，5.7：7，7.7：11，10.0：13）．破線：呑込みが生じなくなってから釣針の「さき」が口腔に入らなくなるまでの区間を直線で仮定した選択性．
↓：選択性曲線の適用範囲の下限．▼：選択性曲線の適用範囲の上限．

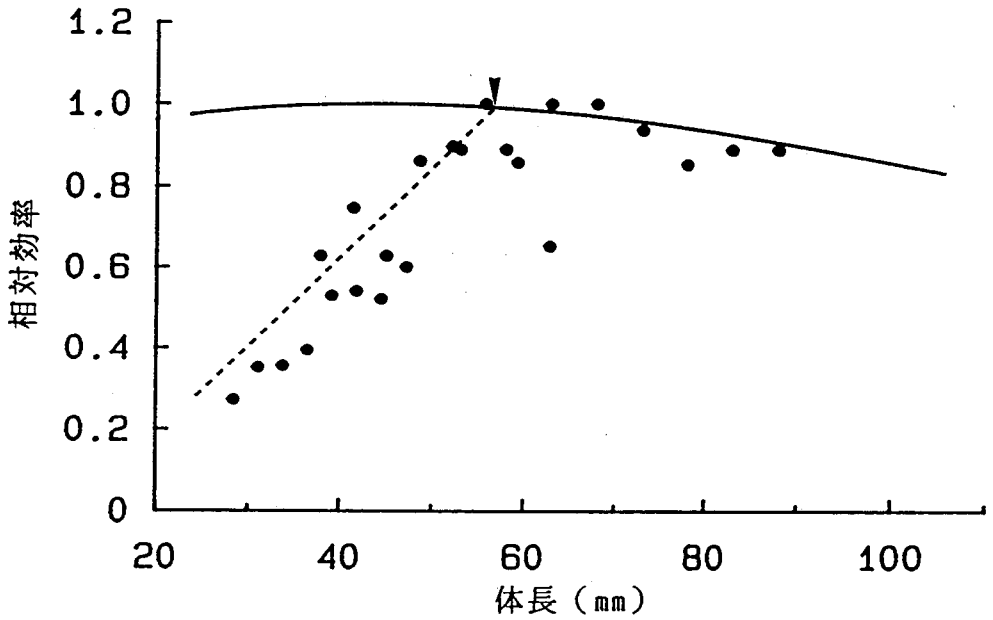



Fig.4-8. 石田の方法によって求めたワカサギ竿釣における袖形 2 号釣針の選択性（●：小池ら，1970）と釣獲確率から推定した選択性曲線．破線：呑込みが生じなくなってから釣針の「さき」が口腔に入らなくなるまでの区間を直線で仮定した選択性．

Table 4-1. 全長 200 mm 以下と 200 mm 以上のサクラマスに対する袖形釣針の平均釣獲確率

| 釣針番号 (号) | 釣針の幅 (mm) | 平均釣獲確率 | |
|---|---|---|---|
| | | 0＜全長＜200 (mm) | 200≦全長≦400 (mm) |
| 0.3 | 2.0 | 0.47 | 0.09 |
| 3 | 3.7 | 0.64 | 0.34 |
| 7 | 5.7 | 0.58 | 0.56 |
| 11 | 7.7 | 0.48 | 0.57 |
| 13 | 10.0 | 0.38 | 0.50 |

## 要約

竿釣の基本的な漁獲特性を明らかにするため，単純化した竿釣を対象に漁獲過程と漁獲選択性について，数学モデルを作成し，これを利用して漁獲特性を解析した。また，釣針に対する魚の行動を調査し，釣針に喰いついた魚が釣り上げられる要因について分析した。

1）単純化した竿釣の漁獲過程

単純化した竿釣における時間経過にともなう漁獲尾数の増加現象に着目し，数学モデルを作成した。単純化した竿釣では漁獲対象魚の摂餌行動の活発さはその魚が釣り落とされた回数だけに依存して変わって行く。このため，その漁獲過程は部分過程から構成され，初期尾数，釣獲率，魚の反応時間，準備時間の関数として表すことができた。

2）釣針に対する魚の行動解析

釣針に喰いついた魚が漁獲されるかどうかは，釣針の口腔内への入りやすさ，針がかりのしやすさ，かかった針の外れ難さの3つの要因が関係すると考えられることがわかった。

3）釣獲確率のモデル

釣針に喰いついた魚を釣り上げることができる確率を釣獲確率とした。この確率は吻端から口の中に任意距離に入る可能性と針がかりする可能性から求められ，釣針

の入り難さの係数 a と針がかりの係数 b および魚の口腔長 Q と釣針の先高さ L の関数として表された。係数 a, b および口腔長 Q と先高さ L を魚の全長 TL と釣針の幅 W の関数として求め，釣獲確率のモデルを利用して漁獲選択性曲線を求めた。

4）釣獲確率から求めた漁獲選択性曲線

魚の全長ごとに，魚の全長と釣針の幅の比 F 値に対して描いた漁獲選択性曲線は魚の大きさによって選択性曲線の形が異なり，釣獲確率の最大値や最大となるときの F 値が異なった。サクラマスを対象にした場合，袖形釣針の漁獲選択性曲線は小さな釣針では大きな釣針の選択性小さな魚体長で鋭い選択性を示した。反対に大きな釣針では選択性が鈍くなることがわかった。

これらの結果は釣漁業において合理的な操業を行うための基礎的な知見としてたいへん重要なものである。今後さらに実際の釣の条件に適用できるようにモデルを展開することによって，漁業管理の科学的な根拠を与えることができるようになると考えられる。

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり，終始懇切な指導と校閲の労をとられた北海道大学水産学部，梨本勝昭教授に心から感謝の意を表する。同時に，本研究を始める際に，多くの有益な指導と助言を賜った同学部，西山作蔵前教授，故中村秀男助教授に深く感謝の意を表する。

また，本研究を進める中で，終始熱心な討論ならびに指導と助言をいただいた同学部，久新健一郎教授，五十嵐脩蔵教授，笹川康雄助教授，三浦汀介助教授に心から感謝する。

同学部，尼岡邦夫教授ならびに矢部　衛助手には生物学的な面での有益な助言をいただいた。ここに感謝の意を表する。

さらに，実験を行うにあたり，多くの実験魚を供与していただいた北海道立水産孵化場森支場の関係各位に感謝する。また，多数の釣針を提供していただいた株式会社がまかつに謝意を表する。そして，実験に協力していただいた北海道大学水産学部漁具漁法学講座の学生諸兄，ならびに，資料整理の労を願った，杉浦多美嬢に深く感謝する。

## 参考文献


1) 本多勝司：マグロ延縄の摩耗，日水誌，28，1-4（1962）．

2) 盛田友弍：マグロ延縄漁具に関する研究，鹿大水産紀要，18，145-215（1969）．

3) 平山信夫：延縄の構造・寸法と漁獲の関係　マグロ延縄の漁獲機構に関する研究－I，日水誌，35，546-549（1969）．

4) 平山信夫：操業方法の違いによる漁獲差　マグロ延縄の漁獲機構に関する研究－III，日水誌，35，629-634（1969）．

5) 嶋村哲哉・添田秀男：マグロ延縄漁業における漁具の浸漬時間・浸漬時間帯と漁獲について，日水誌，45，1081-1085（1979）．

6) 有元貴文，小倉通男，井上喜洋：沿岸底延縄漁業における漁具の浸漬時間の影響，日水誌，49，705-709（1983）．

7) 有元貴文：沿岸底延縄漁業における操業時刻の影響，日水誌，49，1045-1048（1983）．

8) 有元貴文，井上喜洋，小倉通男：沿岸底延縄漁業における釣獲の日周変化，日水誌，49，1175-1181（1983）．

9) 下崎吉矩：まぐろ延縄の操業性能に関する研究，水

産工学研究所研究報告, 8, 249-316 (1987).

10) Richard J. Myhre and Terrance J. Quinn II: Comparison of efficiency of snap gear to fixed-hook setline gear for catching Pacific halibut, International Pacific Halibut Commission Scientific Report, 69, 4-37 (1984).

11) 平山信夫: マグロ延縄の漁獲性能の判定, 東水大研報, 57, 53-64 (1971).

12) 有元貴文, 岩崎俊彦: 沿岸底延縄漁業における釣獲の垂直分布, 日水誌, 49, 1479-1486 (1983).

13) 有元貴文: 沿岸底延縄漁業における枝縄間の釣獲水平分布, 日水誌, 49, 1797-1802 (1983).

14) 有元貴文: 沿岸底延縄漁業における魚種間の釣獲競合, 日水誌, 50, 205-210 (1984).

15) 山口裕一郎: マグロ延縄漁法の釣獲機序に関する研究, 三重大水産紀要, 9, 511-606 (1974).

16) Bernard E. Skud and John M. Hamley: Factors affecting longline catch and effort I. General review II. Hook-spacing III. Bait loss and competition, International Pacific Halibut commission Scientific Report, 64, 4-66 (1978).

17) Bernard E. Skud: A reassessment of effort in the halibut fishery, International Pacific Halibut Commission Scientific Report, 54,

4-11 (1972).

18) 井桁勇三・吉田一雄・天野良平: 循環式自動カツオ釣機の試作と釣獲試験, 日水誌, 44, 331-340 (1978).

19) 坂詰 博・金盛浩吉: 潜航板の色の違いと漁獲との関係 曳縄釣漁業の研究－I, 日水誌, 37, 371-375 (1971).

20) 金盛浩吉・坂詰 博: 単一衝撃に対するテグスの結び目の強さ 曳縄釣漁業の研究－II, 日水誌, 37, 948-952 (1971).

21) 小池孝知: ブリ類の曳縄釣りに使用する鉛錘の抵抗について, 東水大研報, 68, 43-48 (1982).

22) 狩谷貞二, 堀田秀之: 釣獲曲線について, カツオ一本釣機構に関する研究－I, 日水誌, 36, 35-41 (1970).

23) 狩谷貞二, 堀田秀之: 餌交換時間について, カツオ一本釣機構に関する研究－II, 日水誌, 36, 42-47 (1970).

24) 小倉通夫: サバ天秤釣漁船の漁具・魚種の変化に伴う漁獲性能の変動 サバ釣漁業の研究－IV, 日水誌, 34, 581-585 (1968).

25) 小倉通男: さば釣漁業に関する研究の現状と問題点, 水産海洋研究会報, 17, 109-117 (1970).

26) 坂詰 博・金盛浩吉: 操業中に鈎にかかった魚の引

きの強さについて　曳縄釣漁業の研究－Ⅲ，日水誌，37，953-959（1971）．
27）金盛浩吉・坂詰　博：カツオの口切れによる釣落しについて　曳縄釣漁業の研究－Ⅴ，日水誌，40，571-578（1974）．
28）小池孝知：ブリ類の曳縄釣りにおける漁獲水温について，東水大研報，66，119-124（1980）．
29）G. Rollefsen: The selectivity of differrent fishing gear used in Lofoten, J. du Cons., 19, 191-194（1953）.
30）Gunnar Saetersdal: Selectivity of long lines, ICNAF Spec. Publ., 5, 189-192（1963）.
31）F.D. McCracken: Selection by codend meshes and hook of cod,haddock,flatfish and red fish, ICNAF Spec. Publ., 5, 131-155（1963）.
32）Richard J. Myhre: Gear selection and Pacific Halibut, Report of the international Pacific Halibut Commission, 51, 1-35（1969）.
33）小池　篤，竹内正一，小倉通夫，神田献二，在原千秋：延縄釣針の選択曲線，東水大研報告，55，77-82（1968）．
34）小池　篤，竹内正一：竿釣り釣針の選択曲線について，東水大研報告，57，1-8（1970）．
35）小池　篤，神田献二：ワカサギ竿釣りの釣針の選択

作用について，東水大研報告，64，115-123（1978）．
36）石田昭夫：刺網の網目選択性曲線について，北水研研報告，25，20-25（1962）．
37）竹内正一，小池　篤：延縄の漁獲性能と選択曲線におよぼす釣針の大きさと形状の影響について，東水大研報告，55，119-124（1969）．
38）吉原友吉：漁獲の機構Ⅰ，日本生態学会誌，7，10-13（1957）．
39）吉原友吉：漁獲の機構Ⅱ，日本生態学会誌，10，109-112（1960）．
40）平山信夫：漁獲作用の理論的取り扱い　マグロ延縄の漁獲機構に関する研究－Ⅳ，日水誌，35，635-640（1969）．
41）高橋正雄，狩谷貞二，堀田秀之：サバ釣機構に関する研究，日水誌，35，711-716（1969）．
42）位寄和久：建築空間における人間の行動モデル，オペレーションズ・リサーチ，27，89-97（1982）．
43）木村喜之助：カツオ群の性状，東北海区水産研究所研究報告，3，1-87（1954）．
44）谷川英一，田村　正，金森政治，新川傳助：水産学通論，恒星社厚生閣，東京，1974，pp.120-124.
45）長棟暉友：最新漁労学，恒星社厚生閣，東京，1950，pp.243-246.
46）A. Fernö and I. Huse: The effect of experience

on the behaviour of cod(Gadur morhua L.) towards a baited hook, Fisheries Research, 2, 19-28 (1983).

47) 井上　実：漁具と魚の行動，恒星社厚生閣，東京，1985，pp.137-156.

48) 李　春雨，五十嵐脩蔵，見上隆克，山下成治：スケトウダラの餌と餌付き釣針に対する行動と釣針形状，日水誌，55，1553-1558 (1989).

49) 西田俊夫：待ち行列の理論と応用，朝倉書店，東京，1971，pp.210-212.

50) 近藤良夫，舟阪　渡編：技術者のための統計的方法，共立出版，東京，1967，pp.483-502.

51) 檜山義夫，安田富士郎：日本産魚類大図鑑，講談社，東京，1971，pp.30-51.

52) 神田献二，小池　篤，竹内正一，小倉通夫：サバはね釣りにおける釣針の選択性について，東水大研報告，64，109-114 (1978).

53) B.B. Parrish: Some remarks on selection processes in fishing operations, ICNAF Spec. Publ., 5, 166-170 (1963).

54) K. Radway Allen: The influence of behaviour on the capture of fish with baits, ICNAF Spec. publ., 5, 5-7 (1963).

55) Kendall Warner: Hooking mortality of lake-

dwelling landlocked Atlantic salmon, Salmo salar, Trans. Am. Fish. Soc., 107, 518-522 (1978).