



Title	ソウハチに対する刺網の網目選択性
Author(s)	若山, 賢一; WAKAYAMA, KEN-ICHI; 藤森, 康澄 他
Citation	日本水産学会誌, 72(2), 174-181 <a href="https://doi.org/10.2331/suisan.72.174">https://doi.org/10.2331/suisan.72.174</a>
Issue Date	2006-03-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/28045">https://hdl.handle.net/2115/28045</a>
Rights	© 2006 公益社団法人日本水産学会
Type	journal article
File Information	NSG72-2.pdf



ソウハチに対する刺網の網目選択性

ソウハチに対する刺網網目選択性

若山賢一, \*<sup>1</sup> 藤森康澄, <sup>1</sup> 板谷和彦, <sup>2</sup> 村上修, <sup>2</sup> 三浦汀介 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院水産科学院, <sup>2</sup>北海道立中央水産試験場

Mesh Selectivity of Gillnet for Pointhead Flounder *Cleisthenes pinetorum*

KEN-ICHI WAKAYAMA,<sup>1</sup> YASUZUMI FUJIMORI,<sup>1</sup> KAZUHIKO ITAYA,<sup>2</sup>  
OSAMU MURAKAMI<sup>2</sup> and TEISUKE MIURA <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate,  
Hokkaido 041-8611, <sup>2</sup>Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi,  
Hokkaido 046-8555, Japan

---

\*Tel:81-138-40-8830.Fax:81-138-40-8832.Email:wakayama@mesh.fish.hokudai.ac.jp

## 要旨

ソウハチに対する網目選択性を求めるために、8種類の目合で構成される底刺網を用いて、北海道石狩湾において漁獲実験を行った。選択性曲線の推定には SELECT モデルを用いた。ソウハチの全漁獲尾数は 957 尾で、選択性の推定には絡みによる漁獲を除いたデータを用いた。選択性曲線として正規、対数正規、二峰性正規の3種類の関数を適用し、最尤法によりパラメータと相対漁獲強度を推定した。各関数のうち、二峰性正規の適合度が最も高く、同選択性曲線において最大値を得る目合相対体長(体長/目合)は 1.87 と推定された。

キーワード：

ソウハチ，刺網，網目選択性，SELECT モデル，最尤法，二峰性正規関数，  
羅網位置

## ABSTRACT

Fishing experiments were carried out in Ishikari Bay, Hokkaido using a bottom gillnet with eight different mesh sizes to estimate the mesh selectivity for pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum*. A total of 957 pointhead flounder were caught. The SELECT analysis with maximum likelihood method was used to fit the different functional models, the normal, lognormal, and bi-normal model. The catch data except for entangling catch was used for calculation. The bi-normal model was found to fit the data best. For the selectivity curve on the bi-normal model, the relative length (the ratio of fish length to mesh size) with the maximum efficiency was obtained as 1.87.

北海道の日本海からオホーツク海にかけての海域において、ソウハチ *Cleisthenes pinetorum* は重要な漁業資源であり、主に刺網や沖合底引き網によって漁獲されている。この海域におけるソウハチの漁獲量は 1970 年代には 6,000 トンを超えていたが、近年資源の減少と漁獲物の小型化が顕著であり、1980 年以降では 2,000 トン前後で推移している。<sup>1)</sup> そのため、資源保護対策のために漁獲物の体長制限(B.L 15cm, T.L 18cm)が実施されている。また、刺網の網目についても現在 3.5 寸:10.5cm 以上の使用が義務付けられている。しかし、これまでにソウハチの網目選択性が求められた例はない。

これまでの刺網の網目選択性の研究では、紡錘形の魚種に比べて異体類の刺網に対する報告や知見は非常に少ない。これは刺網における異体類の漁獲が明らかにされておらず、刺しよりも絡みによって生じると考えられていたためであろう。<sup>2)</sup> 絡み漁獲とは、網目によって胴周が保持されず、口や目や鰭などに網糸が引っ掛かることが原因となって起こる漁獲を指すが、絡み漁獲では目合と胴周長の幾何学的関係が表れないため、明確なサイズ選択は起こりえない。そのため現在では、選択性を推定する際に刺しと絡みを分けて扱うことが一般的となっている。<sup>3)</sup> したがって、漁獲の主要因が絡みと考えられていた異体類に関しては、上記の理由により選択性をうまく推定することができないと考えられてきたことが、関連する知見が少ない理由として挙げられる。このような背景の中、最近ではいくつかの研究例が見られ、中でも横山らの研究<sup>4)</sup> では、クロガシラガレイは臀鰭第一鰭条の担鰭骨を基点とするように、体軸に対して斜めに羅網する場合が多いことが確認されており、異体類の漁獲に関する重要な知見となっている。また、漁獲の発生過程を確率分布モデルと定義する SELECT モデル<sup>5)</sup> を用いて、Madsen et al.<sup>6)</sup> や Poulsen<sup>7)</sup> が Sole と Plaice の選択性に関する報告をしており、いずれも選択

性曲線は二峰性正規関数が最も適したとしているが、二峰性となる原因に関しては言及していない。

本研究では、SELECT モデル<sup>5)</sup>を基盤として Fujimori and Tokai が提案した推定方法<sup>8)</sup>によりソウハチの選択性曲線を求めるとともに、漁獲物の羅網状態をパターン分けすることで、絡みが多いとされるカレイ刺網の漁獲の特徴と選択性曲線の形状との関係について考察することを目的とした。

## 試料および方法

漁獲試験 2003年7月に、北海道石狩湾余市沖において、余市郡漁協所属の第38たか丸を用船して漁獲試験を行なった。試験海域の水深は約60mであった。試験海域をFig. 1に示す。

Fig. 1

本試験では公称目合7.5, 8.4, 9.0, 9.6, 10.2, 10.8, 11.4, 12.0 cmの8種類のナイロンモノフィラメント網(2号)を用いた。また網の色は淡灰色であった。なお、縮結はすべて60%であった。試験網の1反の大きさは、浮子方の網幅63.6 m, 沈子方の網幅60.6 m, 網丈3.7 mであった。試験では各目合の試験網1反を、目合の大きさの順に繋げたものを2セット、合計16反を一枚に繋げたものを使用した。浮子網にはダンライントワイン7.5 g/m, 沈子網にはダンライン鉛入り岩糸52 g/mをそれぞれ用い、浮子網には1反あたり25個のフロート(AY-1, 浮力20 g)を取り付けた。浸漬時間は、午前5時投網、翌日午前5時揚網の24時間とし、操業は1回行なった。試験終了後に試験網の目合内径を各目合60目について測定し、以降の解析には同実測値の平均値を使用した。測定結果をTable 1に示す。

Table 1

なお、揚網後岸壁での網はずし時に1尾ずつ詳細に羅網状況を調べ、羅網パターンを刺し、鰓、胴、絡みに分類した。ここで刺し漁獲とは、一つの網目によって、胴周が担鰭骨を支点とするように、体軸に対して斜めに保持されている個体と定義した。<sup>4)</sup> また、鰓に掛かっているものを鰓漁獲、担鰭骨に掛かることなく、体高部に刺さっている個体を胴漁獲、そして刺し、鰓、胴漁獲以外の漁獲を全て絡みと定義した。羅網パターンの定義をFig. 2に示す。

同時に羅網位置の分布を調べるために、刺し漁獲の個体の羅網位置の背鰭

側にタグを打った(Fig. 2)。以後，羅網位置を魚体を横向きに置き担鰭骨部を  $0^\circ$  として支点とした時の，タグの位置と支点とのなす角度( Wedged angle )と定義する。網からはずした魚を実験室に持ち帰り，体長，体重，羅網位置として Wedged angle ，担鰭骨と羅網位置とを結ぶラインにおける胴周長 Wedged Girth ( 以下 W.G. ) を測定した。胴周長は背鰭をたたんだ状態で，巻きつけた糸の長さを測定できる自作の測定器具により測定した。各測定部位を Fig. 2 に，胴周長測定器具を Fig. 3 に示す。

Fig. 2

Fig. 3

選択性曲線の推定 網目選択性曲線は SELECT モデル<sup>5)</sup>に基づく Fujimori and Tokai の方法<sup>8)</sup>により推定した。SELECT モデルでは目合  $m_i$  ( $i=1 \sim k$ ) の網による体長  $l_j$  ( $j = 1 \sim n$ ) の魚の漁獲尾数  $C_{ij}$  は次式で表され，ポアソン分布に従うものと考える。

$$C_{ij} = q_i x_i \lambda_j s(R_{ij}) \quad (1)$$

ここで， $x_j$  は網に遭遇した母集団中の体長  $l_j$  の魚の尾数である。そして  $s(R_{ij})$  は目合と体長の比である目合相対体長  $R_{ij} (=l_j/m_i)$  に対する選択率であり， $q_i, x_i$  はそれぞれ漁具能率，漁獲努力量を表している。ここで， $p_i = q_i x_i$

(  $\sum_{i=1}^k p_i = 1$  ) の式で表される目合  $m_i$  の相対漁獲強度  $p_i$  を定義することによ

り(1)式は以下の式で表すことができる。

$$C_{ij} = p_i \lambda_j s(R_{ij}) \quad (2)$$

ここで、漁具能率  $q_i$  が一定であれば、 $p_i$  は反数や目数など漁具間の漁獲努力量の相対的な差を表す。

本研究では、選択性曲線  $s(R_{ij})$  に正規関数、対数正規関数、二峰性正規関数の3つの関数形を適用し比較した。正規および対数正規関数は以下の式で表される。

$$s(R_{ij}) = \exp\left(-\frac{(R_{ij} - R_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$$s(R_{ij}) = \exp\left(-\frac{(\ln R_{ij} - \ln R_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

ここで、 $R_0$  は選択性曲線の最大値を与える目合相対体長で、 $\sigma$  は曲線の幅を決定するパラメータである。また、二峰性正規関数は以下の式で表される。

$$s(R_{ij}) = \frac{1}{\delta} \left[ \exp\left(-\frac{(R_{ij} - R_a)^2}{2\sigma_a^2}\right) + \omega \exp\left(-\frac{(R_{ij} - R_b)^2}{2\sigma_b^2}\right) \right] \quad (5)$$

$R_a$  と  $R_b$  はそれぞれ第一曲線(右辺第一項)と第二曲線(右辺第二項)において曲線の最大値を与える目合相対体長であり、 $\sigma_a$ 、 $\sigma_b$  は同様に各曲線の幅を決定するパラメータである。また  $\omega$  は第二曲線の最大値を決定するパラメータであり、 $\delta$  は選択性曲線の最大値を1とするための補正係数である。

SELECT モデルでは体長  $l_j$  の魚が目合  $m_i$  によって漁獲される割合(漁獲比率)の観測値  $\phi_{ij}$  を以下の式で表す。

$$y_{ij} = C_{ij} / \sum_{i=1}^k C_{ij} \quad (6)$$

また，漁獲比率の期待値  $\hat{\phi}_{ij}$  は式(6)に式(2)を代入した次式で計算される。

$$\hat{\phi}_{ij} = p_i \lambda_j s(R_{ij}) / \sum_{i=1}^k p_i \lambda_j s(R_{ij}) \quad (7)$$

各関数形のパラメータと相対漁獲強度の推定値は，定数項を除いた以下の対数尤度関数を最大化する値として得られる。

$$\ln L = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (C_{ij} \ln \hat{\phi}_{ij}) \quad (8)$$

なお，計算には MS EXCEL のソルバーを用いた。

モデルの適合度は，漁獲比率の観測値  $y_{ij}$  とモデルによる期待値  $\hat{\phi}_{ij}$  の残差によって評価される。そこで，次式の体長別，目合別の標準化残差  $d_{ij}$  (deviance residual) によりモデル逸脱度 (model deviance) を評価する。<sup>5,9)</sup>

$$d_{ij} = \begin{cases} \left. \begin{aligned} & y_{ij} - \hat{\phi}_{ij} > 0 \\ & + \left[ 2\lambda_j \left( y_{ij} \ln \left( \frac{y_{ij}}{\hat{\phi}_{ij}} \right) + (1 - y_{ij}) \ln \left( \frac{1 - y_{ij}}{1 - \hat{\phi}_{ij}} \right) \right) \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \\ \left. \begin{aligned} & y_{ij} - \hat{\phi}_{ij} < 0 \\ & - \left[ 2\lambda_j \left( y_{ij} \ln \left( \frac{y_{ij}}{\hat{\phi}_{ij}} \right) + (1 - y_{ij}) \ln \left( \frac{1 - y_{ij}}{1 - \hat{\phi}_{ij}} \right) \right) \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \end{cases} \quad (9)$$

さらに，モデル全体での逸脱度  $D$  は次式で表される。

$$D = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (d_{ij})^2 \quad (10)$$

モデル逸脱度は近似的に  $(k \times n) - (k - 1 + x)$  の自由度を持つ  $\chi^2$  分布に従う。ここで  $x$  は関数のパラメータ数とする。 $\chi^2$  検定において適合が認められたモデルについては、AIC (Akaike Information Criterion)<sup>10)</sup> を用いて最適なモデルを選択する。AIC の値は以下の式で計算される。

$$\text{AIC} = -2\text{MLL} + 2(k - 1 + x) \quad (11)$$

ここで MLL は最大対数尤度である。

## 結果

漁獲結果と羅網パターン 異体類の魚種別漁獲尾数を Table 2 に示した。異体類全体で 1037 尾の漁獲があり，目合別にみると目合 8.5 cm が最も多かった。漁獲物のほとんどはソウハチであり，異体類の全漁獲尾数の 92.2 % を占めた(計 957 尾)。またソウハチに次いでスナガレイが多く，マガレイ，ヒラメ，アサバガレイと続いたが，ソウハチに比べて非常に少なかった。ソウハチの羅網パターン別の漁獲尾数を Table 3 に示した。刺しによる漁獲が最も多く 796 尾，絡みによるものは 95 尾，鰓掛かりによるものは 54 尾，胴刺さりによるものは 12 尾であり，担鰭骨に掛からない最大胴周部付近での胴刺さりによる個体はほとんど見られなかった。絡みは全体の約 10 % で目合別では目合 7.6 cm で最も絡みが多く(14.2 %)，目合 12.0 cm では絡みはなかった。目合が大きくなるにしたがって，絡み漁獲の割合が減少した。なお，以降の解析では刺しによる漁獲データのみを対象とした。

Table 2

Table 3

目合別でのソウハチの体長階級ごとの漁獲尾数を Fig. 4 に示した。目合 8.5 cm で漁獲は最も多く，目合が大きくなるにしたがい漁獲尾数は減少した。体長階級別では，階級値 18 cm で漁獲は最も多かった。各目合のモード体長は，目合 10.8 cm の場合を除き階級値 17 ~ 19 cm の間にあり，目合とモード体長の間に比例関係は見られなかった。

Fig. 4

選択性曲線 各関数形のパラメータ，相対漁獲強度の推定値およびモデル逸脱度を Table 4 に，推定された選択性曲線を Fig. 5 に示した。二峰性正規関数で推定された選択性曲線の最大値を得る目合相対体長は 1.87 であり，正規，対数正規関数で推定された 1.98 よりも小さい値となった。また，二

Table 4

Fig. 5

峰性正規関数の曲線の幅は他の関数形よりも狭くなった。全ての関数形において逸脱度は低く、 $\chi^2$  検定においても適合が認められたが( $\chi^2$  検定,  $P < 0.05$ ), 二峰性正規関数での逸脱度が最も低くなった ( $P=0.34$ )。また, AIC の値も二峰性正規関数において最も小さかった。このことから, 本研究では二峰性正規関数を最適なモデルとして選択した。

羅網位置分布と羅網位置胴周長 目合別の羅網位置の分布を Fig. 6 に示した。角度別の比較では, 階級値  $60^\circ$  の尾柄部付近での羅網がもっとも多かった。また, 小さい目合では頭部から  $10^\circ$  周辺の羅網が多く, 目合が大きくなるにしたがい角度の大きい位置での羅網が多くなった。Total で見た時には2つのモードが出現しているような分布となった。

Fig. 6

Fig. 7 に目合別の W.G. の分布を示す。目合が大きくなるにしたがってモード周長は大きくなり, 各目合におけるモード周長は目合の2倍で近似した目合内周長 Mesh perimeter ( $2 \times \text{mesh opening}$ )とおおよそ一致した。いずれの目合においても W.G. は広範囲に分布した。Fig. 8 に漁獲物の体長と W.G. の関係を示す。体長に対して W.G. のばらつきは大きく, 単純な直線関係は見られなかった。Table 5 に W.G. を目合内周長で標準化した目合相対胴周長 Relative Girth (以下 R.G.) の羅網位置 (wedged angle) 別の分布を示す。角度別の R.G. の分布には明らかな違いが見られ, が小さい場合には 1.0 を下回る場合が多かったが, が大きい場合には 1.0 を上回る場合が見られた。次に Fig. 9 に羅網位置と R.G. の平均値の関係を示した。R.G. の平均値は角度 が  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  以外はいずれの角度でも 1.0 を下回った。また角度 が大きくなるに従って R.G. は大きくなる傾向であった。

Fig. 7

Fig. 8

Table 5

Fig. 9

## 考察

羅網パターンの割合 羅網パターンは刺し漁獲がほとんどであり,カレイ刺網の主要な羅網機構は刺し漁獲であると考えられた。また絡みによる漁獲の割合は,漁獲量全体に対して約 10 %と少ないものであった。従来,カレイ刺網の漁獲は絡みによるものが多いとされてきた。<sup>2)</sup> これは,本研究での刺し漁獲の定義では,魚体が網地に複雑に絡まっているように見える場合でも,一つの網目によってその胴周が担鰭骨を支点とするように体軸に対して斜めに保持されている場合は刺しとされ,頭部や尾柄部などが他の目合に掛かる複数目刺さりであっても刺し漁獲としたため,従来の認識とは異なった結果となったと考えられる。逆に,同様の定義を用いた横山ら<sup>4)</sup>のクロガシラガレイの結果と比較すると刺しの割合は若干低かった。本研究では担鰭骨に掛からない最大胴周部付近での胴刺さりや,鰓蓋に掛かって漁獲したものを全て刺しから除外しており,このような判断基準の若干の違いが影響していると考えられる。また,魚類の羅網パターンは対網行動に影響していることが知られており,<sup>11,12,13)</sup> こうした行動の背景となる活性,食性,摂餌などの生態的特徴の違いが間接的に漁獲結果に反映されていることも十分推測される。例えばソウハチと同様に同海域で多くの漁獲があるマガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini* は,ソウハチとは食性や摂餌行動も異なることが知られている。<sup>14)</sup> 今後はマガレイを始めとして,異なる異体類の魚種で同様の試験を行い,比較する必要があると考えられる。

選択性曲線の形状と漁獲の特徴の関係 ソウハチの選択性曲線の形状には二峰性正規関数が最も適しているという結果となった。SELECT モデルを用

いて Sole と Plaice の選択性曲線を推定した海外の研究事例においても、二峰性正規関数が最も適しているという結果となっている。<sup>6, 7)</sup> しかし、これらの研究の推定では絡みによる漁獲も含まれている。紡錘形の魚種に関しても複数のモードをもつ選択性曲線の研究事例は数多くあるが、<sup>8, 15-20)</sup> 従来の研究では多峰性を選択性曲線は絡みの影響を表すものとして考えられる場合が多かった。<sup>18, 20)</sup> しかし、本研究では絡み漁獲を選択性曲線の解析から除外しているため、それらの影響は排除されている。選択性曲線が二峰性の形状を示す絡み以外の理由として、Hovgard<sup>15)</sup> は異なる部位での漁獲によるものであると説明しており、また、Fujimori and Tokai<sup>8)</sup> は、刺網による刺し漁獲は必ず魚体の同じ部位で起こるとは限らず、羅網しやすい部位が周長の異なる複数箇所にわたる場合、選択性曲線の形状は歪んだものになっている。本来刺網のサイズ選択は胴周長と網目内周長の幾何学的関係に起因するものであるが、漁獲される個体の体長と羅網位置胴周長の関係が単純な直線関係にない場合には、選択性曲線を体長で表現する際に歪みが起こる。本研究における異体類の刺し漁獲の定義では、羅網可能な部位が担鰭骨を支点として腹鰭付近から尾柄部まで広い範囲にわたっており、体長と羅網位置胴周長の関係は直線関係とはならなかった (Fig. 8)。また、羅網位置の分布は一様ではなく、特定の位置 (角度) 周辺に偏る傾向が見られた (Fig. 6)。このような羅網の特徴によって選択性曲線の形状が二峰性となったと考えられる。しかしながら、特定の羅網位置での漁獲が多くなり偏りが出る要因については明らかにすることができなかつたため、今後は、魚体形状の特徴や対網行動等も調べることで、明らかにしていく必要がある。

カレイ刺網の仕様と漁獲の関係 一般的にカレイ刺網は絡ませて漁獲するという認識があるため、北海道で使用されるカレイ刺網は、頭部や尾柄部など

が他の網目に掛かる複数目刺さりが起こり易いように、浮力を小さめに設定しているのが標準的である。<sup>21)</sup> この状態では、網は海底からわずかに起きている程度で、ほとんど海底に沿った状態となっていると思われる。この漁具の仕様上、網に接触した魚が暴れる際に、魚体頭部や尾柄部が他の複数の網目に掛かかってしまい漁獲される魚が多くなると考えられる。さらに、背鰭が魚体の後戻りを妨げるストッパーの役割を果たしていることによって、紡錘形の魚種の刺し漁獲によく見られるような、網糸が魚体に食い込むように魚体胴周が網目によってしっかり保持されている状態<sup>22)</sup> ではなくても漁獲が起こりえる。実際の網はずし時にも、そのような羅網状況が非常に多く観察された。このような漁獲の特徴により、目合相対胴周長 R.G. が 1 を下回る場合が多い結果となったと考えられる。通常の紡錘形の魚種では、R.G. の値はシロサケの 1.13<sup>23)</sup> を始めとしていずれも 1.0 以上とされており、<sup>13,24)</sup> 1.0 以下の値は報告されていない。これは、同刺網を用いた漁法における異体類の漁獲の特徴によるものと考えられる。

商業目合の体長選択範囲 本研究で推定された選択性曲線の最大値を得る目合相対体長は 1.87 であった。これより本研究で推定された商業目合(10.5 ~ 12.0 cm)において主要対象となるソウハチの体長は 19 cm ~ 23 cm と推測できる。目合 10.5 cm の 50% 選択体長は 15.7 cm と小さく、規制体長 15 cm の選択率は 0.38 と高いため、目合 10.5 cm では体長 15 cm のソウハチを十分に規制できない可能性がある。また目合 11.4cm の 50% 選択体長は 17.1 cm で体長 15 cm の選択率は 0.21、目合 12.0 cm の 50 % 選択体長は 18.0 cm で体長 15 cm の選択率は 0.14 となる。このことから、規制サイズ以下のソウハチを保護するためには、11.4 cm 以上の使用が望ましい。ただし、同海域では目合 11.4cm ~ 12.0cm が主に使用されており、漁業者の対応は適切な

ものと思われる。本研究の結果から、刺網によるカレイの漁獲には特徴的な傾向があることが示された。今後も異体類の羅網機構をより明らかにしていく必要がある。

## 謝辞

漁獲試験にあたって終始多大なご協力を頂いた余市郡漁協所属第38たか丸船長佐京孝次郎氏に対し、心より深く感謝の意を表す。また、標本の測定およびデータ解析にあたり、多大なご協力を頂いた北海道立中央水産試験場、資源管理部の皆様にも心より厚くお礼申し上げます。

## 文献

- 1) 農林水産省北海道統計情報事務所. 「昭和 45 年～平成 15 年度 北海道農林水産統計年報」北海道農林水産統計協議会, 北海道. 1970～2003.
- 2) 石田昭夫. カレイ刺網の網目選択性についての予備的検討. 北水誌月報. 1964; **21**: 6-11.
- 3) Hamley JM. Review of gillnet selectivity. *J.Fish.Res.Board Can.* 1975; **32**: 1943-1969.
- 4) 横山信一, 西内修一, 丸山秀佳. クロガシラガレイに対するカレイ刺網の網目選択性. 日水誌. 1998; **64**: 979-986.
- 5) Millar RB, Fryer RJ. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. *Rev. Fish Biol. Fish.* 1999; **9**: 1-28.
- 6) Madsen N, Holst R, Wileman D and Moth-Poulsen T. Size selectivity of sole gill nets fished in the North Sea. *Fisher. Res.* 1999; **44**: 59-73.
- 7) Moth-Poulsen T. Seasonal variation selectivity of plaice trammel nets. *Fisher. Res.* 2003; **61**: 87-94.
- 8) Fujimori Y, Tokai T. Estimating of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fisher. Sci.* 2001; **67**: 644-654.
- 9) McCullagh P, Nelder JA. *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, New York. 1989.
- 10) Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Autom. Contr.* 1974; **19**: 716-723.
- 11) 藤森康澄, 東海 正, 梁 振林, 松田 皎. 刺網の漁獲機構のシミュレーションモデル. 日水誌. 1995; **61**-6: 868-873.
- 12) 藤森康澄, 東海 正, 松田 皎. 水槽実験におけるニジマス日周活動と

- 照度の刺網漁獲に及ぼす影響. 日水誌. 1994; **60**: 577-583.
- 13) 松岡達郎, 杜 勝久, 斉藤良仁. 刺し網のサイズ選択性の計算法とその水槽実験による検証. 日水誌. 1995; **61**: 880-888.
- 14) 渡野邊雅道. マガレイ. 「新 北のさかなたち」(上田吉幸ら編) 北海道新聞社, 北海道. 2003; 272-277
- 15) Hovgård H. A two-step approach to estimating selectivity and fishing power of research gill nets used in Greenland waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996; **53**: 1007-1013.
- 16) Fujimori Y, Shiode D: Estimation of the size composition of fish that encountered gillnet. *Proceeding of the JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area. Sustainable Fisheries in Asia in the New Millenium. Bogor, Indonesia, August 2000.* 2001; 161-166.
- 17) Holt SJ. A method for Determining Gear Selectivity and its Application. *ICNAF Spec. Publ.* 1963; **5**: 106-115.
- 18) Hamley JM, Regier HA. Direct estimates of gillnet selectivity to walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*). *J.Fish.Res.Board Can.* 1973; **30**: 817-830.
- 19) Kurlilahti M, Appelberg M, Bergstrand E, Enderlein O. An indirect estimate of bimodal gillnet selectivity of smelt. *Journal of Fish Biology.* 1998; **52**: 243-254.
- 20) Losanes LP, Matuda K, Fujimori Y. Estimating the entangling effect of trammel and semi-trammel net selectivity on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fisheries Reseach.* 1992; **15**: 229-242.
- 21) 北海道水産新聞社. カレイ刺網. 「漁具・漁法」, 北海道. 1983; **4**: 26-27.
- 22) 梨本勝昭. 網刺し現象の基礎的研究( ) 羅網魚の保持力について. 北大水産彙報. 1969; **19**: 279-287.

- 23) 梨本勝昭. 網刺し現象の基礎的研究( ) 羅網機構の理論的考察と実測  
による検討. 北大水産彙報 1965; **15**: 221-233.
- 24) 夏目雅史, 松石 隆. 魚体を網目通過させるための目合と縮結の必要十分条件. 日水誌. 2003; **69**: 596-601.

Table 1 Specification of the experimental gillnet for flatfish used  
in the experiment

Mesh size			Vertical number	Hang in ratio (%)
Nominal mesh size (cm)	Mean mesh opening (cm)	S.D.		
7.5	7.6	0.04	50	60
8.4	8.5	0.08	46	60
9.0	9.1	0.06	43	60
9.6	9.6	0.05	41	60
10.2	10.2	0.06	38	60
10.8	10.8	0.06	36	60
11.4	11.4	0.09	34	60
12.0	12.0	0.05	30	60

Table 2 The number of flat fish caught in each mesh size

Species	Mesh opening (cm)								Total	Percentage
	7.6	8.5	9.1	9.6	10.2	10.8	11.4	12.0		
Pointhead flounder	204	225	172	118	100	67	38	33	957	92.3
Brown sole	12	8	3	1	1	1			26	2.5
Sand flounder	21	24	2	1	1				49	4.7
Japanese flounder		1			1		2		4	0.4
Dusky sole	1								1	0.1
Total	238	258	177	120	103	68	40	33	1037	100
Percentage	23.0	24.9	17.1	11.6	9.9	6.6	3.9	3.2	100	

Table 3 Number of wedged, tangled, gilled fish and trunk -fish \*

Catch pattern	Mesh opening (cm)								Total
	7.6	8.5	9.1	9.6	10.2	10.8	11.4	12.0	
Wedged	154 (75.5)	174 (77.3)	154 (89.5)	97 (82.2)	86 (86.0)	63 (94.0)	36 (94.7)	32 (97.0)	796 (83.2)
Tangled	29 (14.2)	29 (12.9)	15 (8.7)	12 (10.2)	7 (7.0)	3 (4.5)			95 (9.9)
Gilled	12 (5.9)	19 (8.4)	3 (1.7)	9 (7.6)	7 (7.0)	1 (1.5)	2 (5.3)	1 (3.0)	54 (5.6)
Trunk	9 (4.4)	3 (1.3)							12 (1.3)
Total	204 (100)	225 (100)	172 (100)	118 (100)	100 (100)	67 (100)	38 (100)	33 (100)	957 (100)

\* Fish wedged at trunk without hitching on proximal pterygiophore

Numbers in parentheses are percentage (%)

Table 4 Estimated parameters and model deviance for each model

Models	Parameters													
	$R_0 (R_a)$	$R_b$	$\sigma (\sigma_a)$	$\sigma_b$	$\omega$	$\delta$	$P_{7.6}$	$P_{8.5}$	$P_{9.1}$	$P_{9.6}$	$P_{10.2}$	$P_{10.8}$	$P_{11.4}$	$P_{12.0}$
Normal	1.98		0.55				0.24	0.21	0.18	0.11	0.10	0.07	0.04	0.05
Lognormal	1.98		0.25				0.23	0.21	0.18	0.11	0.10	0.08	0.05	0.05
Bi-normal	1.87	2.56	0.32	0.23	0.61	1.01	0.23	0.21	0.18	0.11	0.10	0.08	0.05	0.05
	MLL <sup>1</sup>		$D$		d.f		AIC <sup>2</sup>		$P$ value					
Normal	-1496.71		69.39		55		3011.43		0.092					
Lognormal	-1496.00		66.34		55		3009.99		0.141					
Bi-normal	-1491.20		54.55		51		3008.40		0.340					

<sup>1</sup>Maximum log-likelihood

<sup>2</sup>Akaike's Information Criterion

Table 5 Number of pointhead flounder caught by relative girth in each wedged angle

Relative girth class	Wedged angle ( ° )						Total
	-20	0	20	40	60	80	
0.46-0.55	1	2	0	0	1	0	4
0.56-0.65	3	8	2	0	2	0	15
0.66-0.75	8	16	23	4	7	0	58
0.76-0.85	10	48	34	19	15	1	127
0.86-0.95	7	32	57	47	69	3	215
0.96-1.05	4	20	31	48	124	9	236
1.06-1.15	1	4	9	15	77	6	112
1.16-1.25	0	1	0	5	16	2	24
1.26-1.35	0	0	0	0	4	0	4
1.36-1.45	1	0	0	0	0	0	1
Total	35	131	156	138	315	21	796

Figure caption

Figure 1 Location of the gillnet fishing experiment.

Figure 2 Definition of the measurement position and the catch pattern.

Figure 3 Measurement instrument of the girth perimeter.

Figure 4 Length frequency distributions by each mesh size.

Figure 5 Estimated master curves of the mesh selectivity for pointhead flounder.

Figure 6 Frequency distributions of the number of fish caught by wedged angle  
in each mesh size.

Figure 7 Frequency distributions of the number of fish caught by girth perimeter  
at wedged position in each mesh size.

Figure 8 Relationship between girth perimeter at wedged position and body length  
for pointhead flounder caught.

Figure 9 Mean value of relative girth at each position.

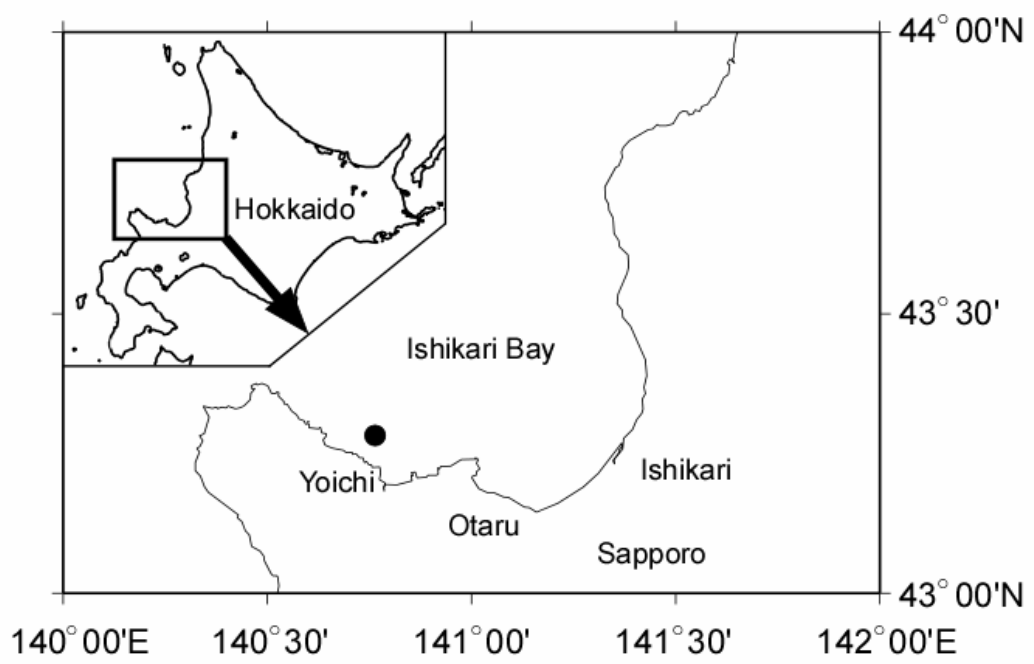


Fig. 1

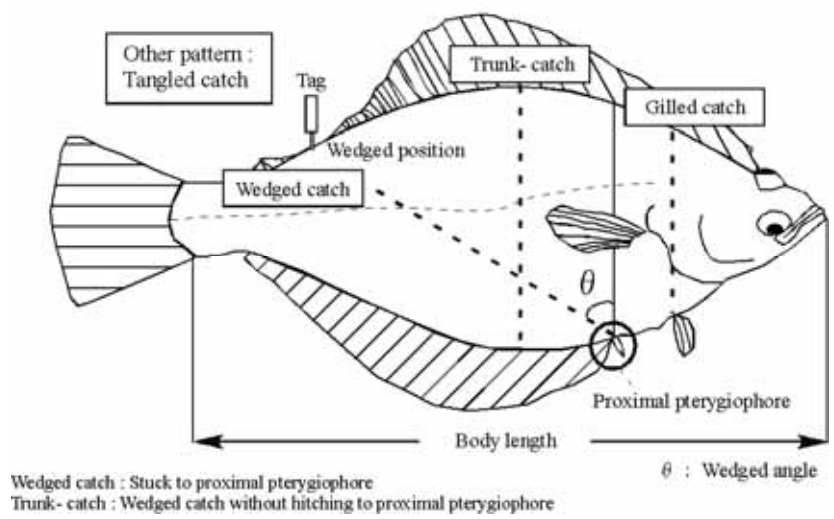


Fig. 2

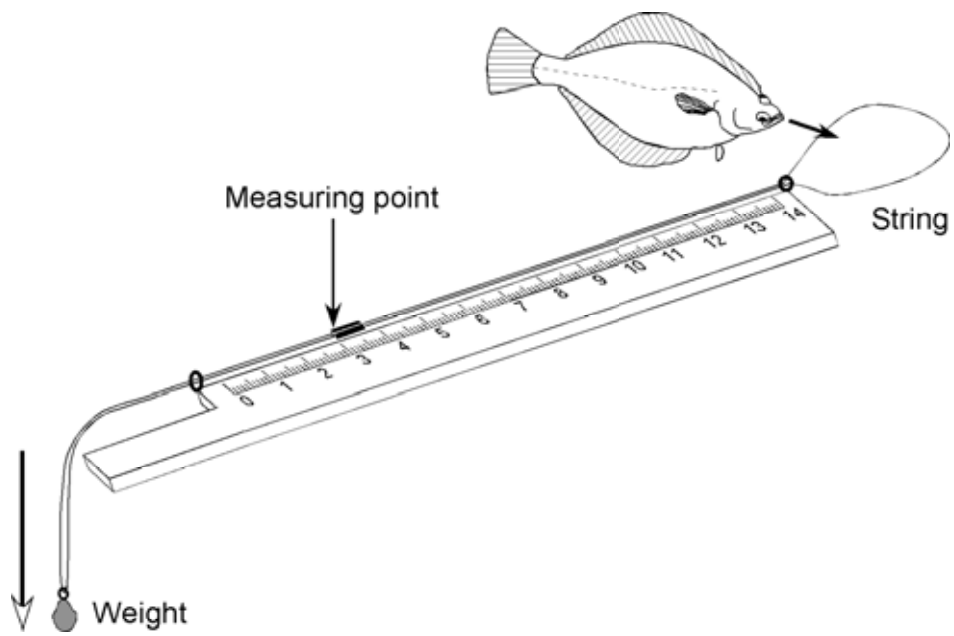


Fig. 3

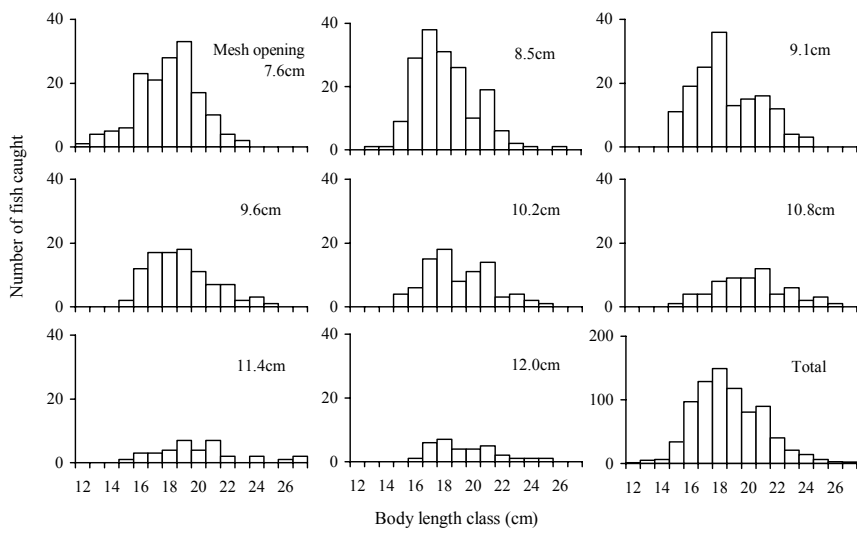


Fig. 4

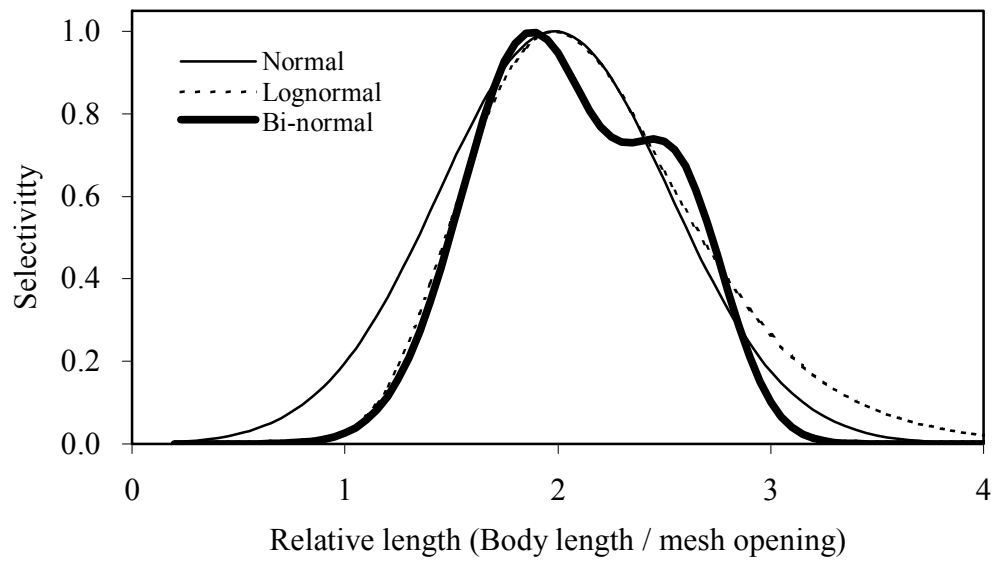


Fig. 5

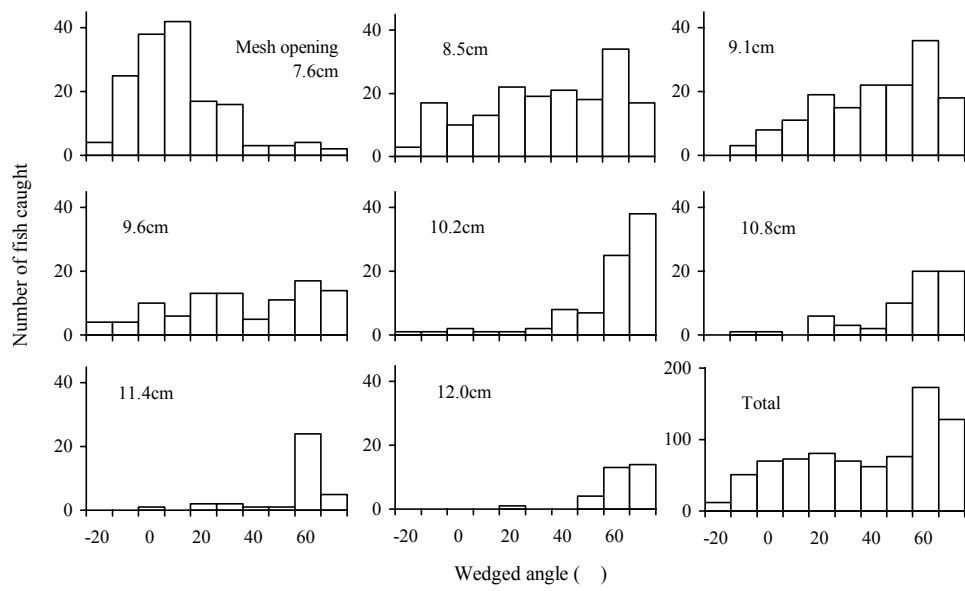


Fig. 6

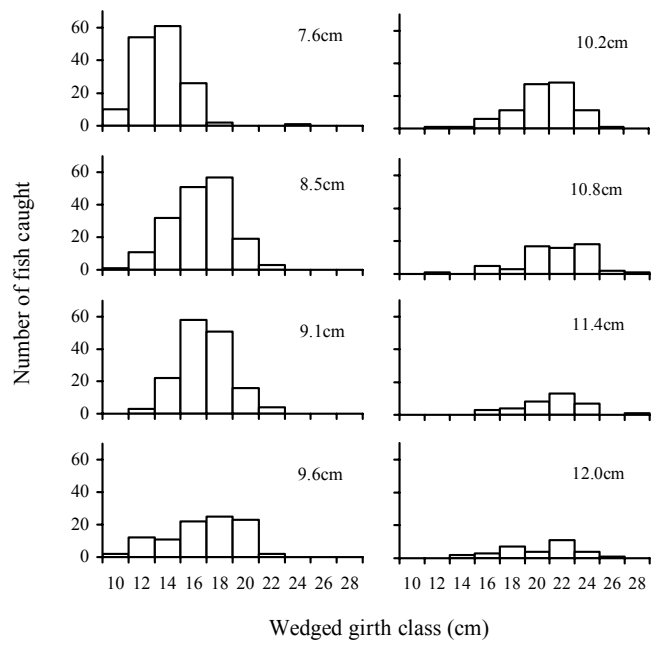


Fig. 7

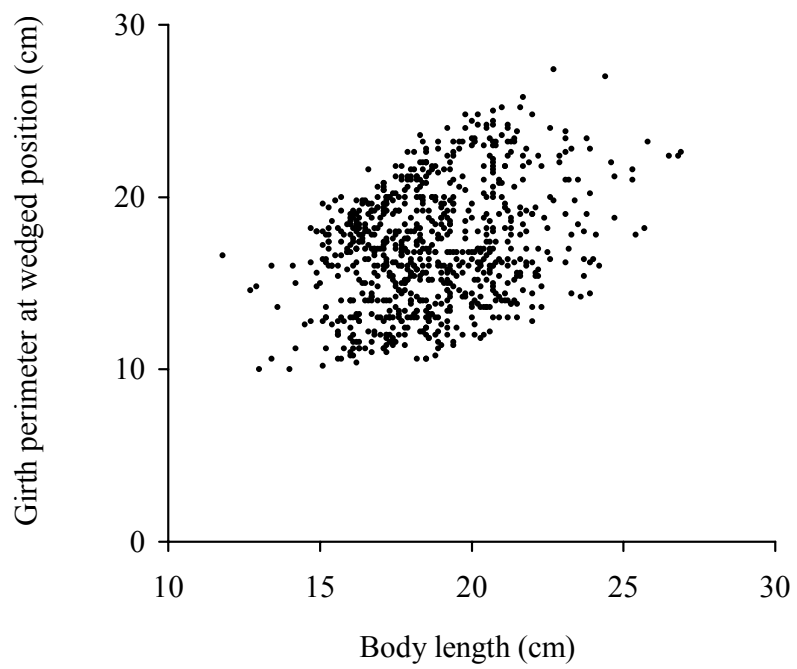


Fig. 8

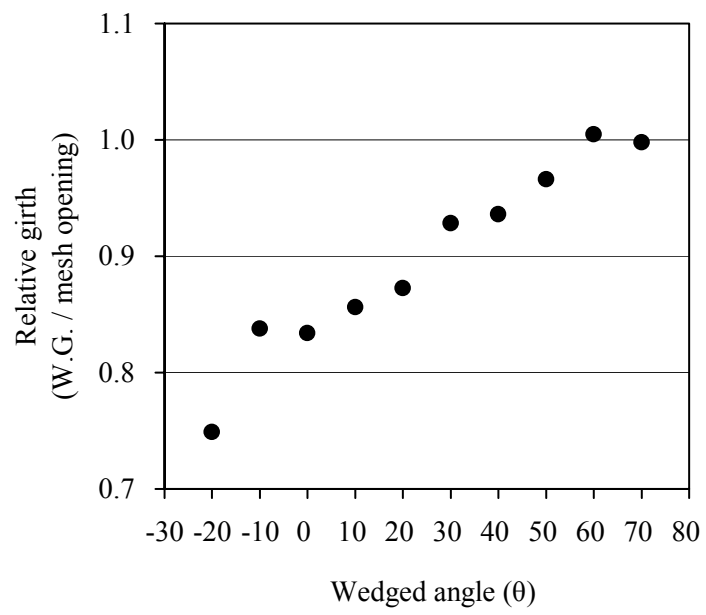


Fig. 9