

東京湾の小型底びき網におけるグリッドの選択性

大畑 聡,^{1*} 池上直也,² 仲村文夫,² 藤田 薫,³ 松下吉樹⁴

(2006年12月27日受付, 2007年7月24日受理)

¹千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所, ²千葉県水産総合研究センター,
³水産総合研究センター水産工学研究所, ⁴長崎大学水産学部

Selectivity of grid separator with horizontal bars for beam trawl fishery in Tokyo Bay

SATOSHI OHATA,^{1*} NAOYA IKEGAMI,² FUMIO NAKAMURA,²
KAORU FUJITA³ AND YOSHIKI MATSUSHITA⁴¹Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Tokyo Bay Fisheries Laboratory, Futtsu, Chiba 293-0042,
²Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Chikura, Chiba 295-0024, ³National Research Institute of
Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Kamisu, Ibaraki 314-0408, ⁴Faculty of Fisheries, Nagasaki
University, Nagasaki 852-8521, Japan

Selectivity of a grid separator for marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* and white-spotted conger *Conger myriaster* was estimated to reduce bycatch of juvenile marbled flounder while retaining commercial sizes of white-spotted conger. Four different grids made of horizontal bars (13, 15, 20 and 24 mm bar spaces) fixed on the belly of the codend were tested at sea from 2002 to 2004 to develop a measure for reducing bycatch. An external covernet was attached behind the grid to catch all fish that escaped through the grid. We used three different models (logistic, Richards, and contact-logistic models) to describe grid selectivity. The contact-logistic model was chosen as the best-fit model for marbled flounder and white-spotted conger. Grid selectivity was expressed as the ratio of vertical size of the fish body to bar space for both species. Under the test conditions, we considered that a grid of 15 mm bar space reduced juvenile discards of marbled flounder by 40% and caught most of the white-spotted conger.

キーワード: グリッド, 小型底びき網, 選択性, マアナゴ, マコガレイ

東京湾の内湾(千葉県富津岬と神奈川県観音崎を結ぶ線以北の海域)における小型底びき網漁業では, マコガレイ *Pleuronectes yokohamae* はスズキ *Lateolabrax japonicus* に次いで多く水揚げされる重要な水産資源である。しかし, 東京湾の内湾での千葉県所属漁船によるカレイ類の水揚量は, 1986年のおよそ1500トンをピークに減少し, 1999年以降は300トン程度に低迷している。¹⁾ このため, マコガレイ資源を早急に回復させる必要があり, その対策の一つとして水揚げサイズに満たない全長15 cm未満の小型魚の保護が挙げられる。

マコガレイの小型魚(以降, マコガレイ小型魚と呼ぶ)は, 東京湾の内湾では夏季に東京湾横断道路から中ノ瀬にかけての海域に高密度に分布する。²⁾ しかし, 同海域ではマアナゴ *Conger myriaster* を漁獲対象とする小型底

びき網操業も行われている。マアナゴを漁獲対象とする小型底びき網漁業では, 袋網が呼称目合13節(約25 mm)の漁具(通称あなご網)が使用されている。しかし, この目合ではマコガレイ小型魚は袋網の網目を通過できずに混獲され, その混獲尾数は年間およそ30万尾に達すると見積もられている。³⁾ さらに, 混獲されたマコガレイ小型魚は曳網中の損傷や船上での干出により, 再放流してもその後の生残率は0~3割と低い。⁴⁾ したがって, マコガレイ小型魚を保護するには, これらが水中で網から逃避できるようにすることが効果的と言える。

小型魚の混獲を防除するための技術開発および検討は, 既に各地で行われてきており, その多くは袋網の目合を拡大する方式を採用してきた。⁵⁻⁸⁾ しかし, マコガ

* Tel : 81-439-65-3071. Fax : 81-439-65-3072. Email : s.ooh@ma.pref.chiba.lg.jp

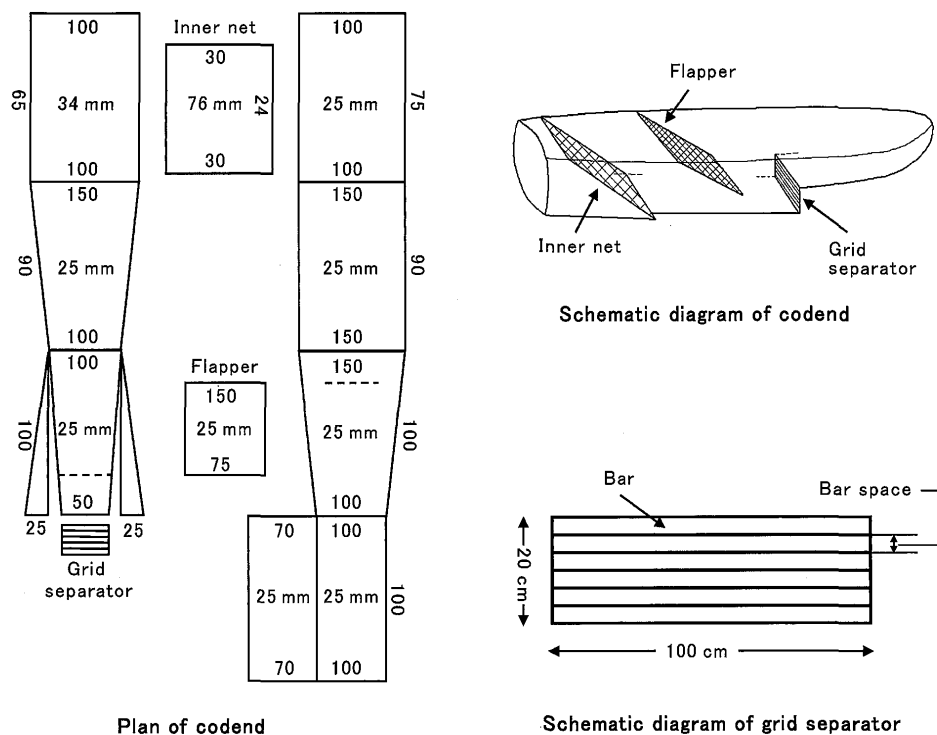


Fig. 1 Plan of codend and schematic diagram of codend and grid separator used in the fishing experiment.

レイは体が著しく側扁し、その体高は小型魚でもマアナゴの体幅とほぼ同じである。このため、マコガレイ小型魚が逃避できるまで網の目合を大きくすると、漁獲対象であるマアナゴも同時に逃避すると思われる。小型魚の混獲を防除する技術には、この他にグリッドを使用する方式が挙げられる。⁹⁾ Fig. 1のように水平のバーを配置したグリッドでは、バー間の空間の形状は横方向に長い方形になる。このグリッドの横方向の長さがマコガレイの体高やマアナゴの体幅より十分長いと、グリッドからの逃避は魚体の鉛直方向の厚みが直接的に関わって決まると考えられる。また、マコガレイ小型魚の魚体の鉛直方向の厚みはマアナゴのそれよりも小さい。このことから、グリッドのバー間の空間の高さ（以降、バー間隔と呼ぶ）を適切な幅に設定すると、マアナゴは保持されつつマコガレイ小型魚が逃避することが期待できる。

そこで、マコガレイ小型魚の混獲防除を目的に、あなご網の袋網にグリッドを取り付けた漁具を作成し、実際の漁場で曳網試験を行うことによりマコガレイおよびマアナゴに対するグリッドの選択性を調べた。そして、得られた結果からグリッドの選択性を決める要因を考察した。

試料および方法

漁具の設計 開発した漁具は通常にあなご網の袋網の内部にグリッド、誘導網、仕切網を取り付けたものであり、その模式図と漁具展開図は Fig. 1 に示すとおりである。なお、袋網の目合は全て呼称 13 節（約 25 mm）

である。

グリッドは横幅 100 cm、高さ 20 cm の方形枠内に水平に等間隔でバーが取り付けられたものであり、方形枠、バーともに直径 4 mm のステンレスの棒で構成されている。そして、体が扁形なマコガレイ小型魚はバー間の空間から逃避し、マアナゴは逃避できずに漁獲されると想定した。また、マコガレイ小型魚は網内の海底付近を通過する割合が高いと考えたので、グリッドは袋網の底部に海底面に対して直立するように取り付けた。

誘導網は袋網の天井から底へ向けて張られた呼称目合 13 節（約 25 mm）の網である。誘導網はグリッドの上方を通過する生物をグリッドへ誘導するために取り付けられており、これによりマコガレイ小型魚がグリッドに遭遇する確率（以降、遭遇確率と呼ぶ）を高めようとしている。

仕切網は、マアナゴとクラゲ類等を漁具内で分離するために漁業者が使用しているものと同様な構造であり、マコガレイ小型魚やマアナゴは通過できるが、クラゲ類やサメ類は通過できない呼称目合 2 寸又は 2.5 寸（61 mm 又は 76 mm）で構成されている。この仕切網によりクラゲ類やサメ類等がグリッドの前を塞ぐのを防ぎ、グリッドの機能を十分に働かせようと考えた。

試験操業と漁獲物の測定 マコガレイ小型魚が多く分布する東京湾の中ノ瀬周辺および盤洲海域で、2002 年の 7～10 月、2003 年の 7～10 月および 2004 年の 5～6 月に、カバーネット式の曳網試験を延べ 39 回実施した。いずれも、通常にあなご網の袋網を Fig. 1 に示す

試験漁具に取り替えて、通常の操業と同じ曳網速力 (3.0~3.5 ノット) と曳網時間 (30 分) で試験を行った。曳網試験では、マコガレイおよびマアナゴに対するグリッドの選択性を調べるために、バー間隔が 13, 15, 20, 24 mm の 4 種類のグリッドを使用した。また、グリッドのバーの間を通過した生物を回収するために、グリッドの後面を覆うように呼称目合 13 節 (約 25 mm), 長さ約 1.5 m の袋状のカバーネットを取り付けた。

仕切網, 袋網, カバーネットの漁獲物は揚網後別々に取り出した。そして、漁獲物のうちマコガレイは全長, 体幅を, マアナゴは全長, 頭部の高さ (以降, 頭高と呼ぶ) を測定した。なお, 頭高は頭部 (吻の先端から鰓の後端まで) における高さの最大値とした。

グリッドの選択性の評価 本試験で使用したグリッドの隙間の横幅は 100 cm であり, マコガレイの体高やマアナゴの体幅よりは十分に大きい。これは, グリッドの隙間の横幅はこれらの魚種に対する選択性には影響を及ぼさないことを意味する。したがって, マコガレイとマアナゴに対するグリッドの選択性は, バー間隔と魚体の鉛直方向の厚みの関係が重要な要素になって決まると考えられる。そこで, 魚体の鉛直方向の厚みを表す測定値 (マコガレイは体幅, マアナゴは頭高) をバー間隔で除して標準化したデータ (以降, マコガレイでは相対体幅, マアナゴでは相対頭高と呼ぶ) で実測の選択率をプロットし, それを近似するマスターカーブを求めた。なお, グリッドの選択性を表すマスターカーブとして, これまで logistic 曲線モデルや Richards 曲線モデルが使われてきたので, マスターカーブには下記で表される logistic 曲線モデル ($r_1(H)$), Richards 曲線モデル ($r_2(H)$), グリッドへの遭遇確率を変数としたモデル ($r_3(H)$) の 3 モデルを考えた。^{9,10)}

$$r_1(H) = \frac{1}{1 + \exp(aH + b)} \quad (1)$$

$$r_2(H) = \frac{1}{\{1 + \exp(aH + b)\}^c} \quad (2)$$

$$r_3(H) = (1 - p) + p \left\{ \frac{1}{1 + \exp(aH + b)} \right\} \quad (3)$$

ただし, H はマコガレイでは相対体幅, マアナゴでは相対頭高, p は遭遇確率, a, b, c は各モデルのパラメータである。遭遇確率 p およびパラメータ a, b, c は, 曳網試験で得られたデータをもとに MS-Excel のソルバーを用いて最尤法により推定した。¹¹⁾ そして, 各モデルについて AIC (赤池の情報量規準) を求め, AIC が最も小さくなるモデルをマスターカーブとして採用した。^{12,13)}

さらに, 採用されたモデルについては, 下記で表される逸脱度 D を計算した。¹⁴⁾ 逸脱度 D は近似的に χ^2 分布に従うので,¹⁵⁾ 採用されたマスターカーブの適合度を χ^2

検定により有意水準 0.05 で評価した。

$$D = 2 \sum_H \left(R_H \cdot \ln \frac{R_H}{r_H} + (1 - R_H) \cdot \ln \frac{1 - R_H}{1 - r_H} \right) \quad (4)$$

ただし, R_H は相対体幅または相対頭高 H における実測の選択率, r_H は相対体幅または相対頭高 H におけるマスターカーブによる選択率である。

結 果

マコガレイの体幅組成とマアナゴの頭高組成 Fig. 2 に曳網試験で漁獲されたマコガレイの体幅組成およびマアナゴの頭高組成を示す。マコガレイは曳網試験により 217 尾漁獲された。水揚げサイズである全長 15 cm より小さい個体は, 体幅の出現範囲が 2~11 mm であり, そのヒストグラムは体幅 6~7 mm をモードとする単峰型の分布であった。また, 体幅 4~8 mm の個体が 86.8% を占めていた。一方, 全長 15 cm 以上の個体は, 体幅の出現範囲が 11~21 mm であった。

マアナゴは, 曳網試験により 380 尾漁獲され, 頭高の出現範囲は 5~17 mm であった。水揚げサイズ (全

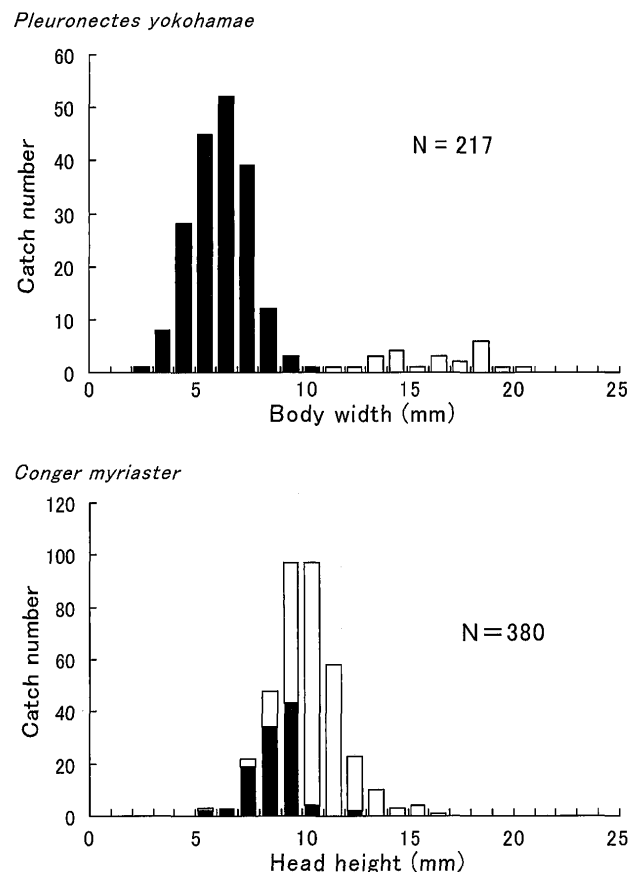


Fig. 2 Body width composition in marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* and head height composition in white-spotted conger *Conger myriaster*. ■: less than 15 cm total length for marbled flounder and less than 35 cm total length for white-spotted conger, □: over 15 cm total length for marbled flounder and over 35 cm total length for white-spotted conger.

Table 1 Estimates of parameters and AIC in the three models of master curve and deviance in the selected model of master curve

parameter	<i>Pleuronectes yokohamae</i>		
	logistic equation*1	Richard's equation*2	contact logistic*3
<i>a</i>	-11.71	-22.15	-23.40
<i>b</i>	4.38	10.10	10.13
<i>c</i>		0.38	
<i>p</i>			0.69
AIC*4	36.52	36.34	33.54*5
deviance			30.12
degree of freedom			20
critical value			31.41
parameter	<i>Conger myriaster</i>		
	logistic equation*1	Richard's equation*2	contact logistic*3
<i>a</i>	-4.20	-50.78	-29.30
<i>b</i>	1.79	45.67	22.08
<i>c</i>		0.03	
<i>p</i>			0.42
AIC*4	77.83	67.78	56.10*5
deviance			18.74
degree of freedom			14
critical value			23.68

*1: logistic equation model = $1 / \{1 + \exp(aH + b)\}$ *2: Richard's equation model = $1 / \{1 + \exp(aH + b)\}^c$ *3: contact logistic model = $(1 - p) + p / \{1 + \exp(aH + b)\}$

*4: Akaike's Information Criterion

*5: selected model

長 35 cm) より小さい個体は、頭高の出現範囲が 5~13 mm であった。また、頭高 7~9 mm の個体が 89.7% を占めていた。一方、全長 35 cm 以上の個体は、頭高の出現範囲が 5~17 mm であり、そのヒストグラムは頭高 10~11 mm をモードとする単峰型の分布であった。また、頭高 9~12 mm の個体が 78.2% を占めていた。

マコガレイ小型魚の体幅組成と全長 35 cm 以上のマアナゴの頭高組成を比較すると、全長 35 cm 以上のマアナゴの頭高組成は、マコガレイ小型魚の体幅組成より出現範囲、モードがともにおよそ 5 mm 大きかった。

マコガレイとマアナゴのマスターカーブ マコガレイ、マアナゴに対するマスターカーブのパラメータと AIC および採用されたマスターカーブの逸脱度、自由度、棄却域をそれぞれ Table 1 に示す。AIC の値から、マコガレイおよびマアナゴに対するマスターカーブはともにグリッドへの遭遇確率を変数としたモデルが採用された。また、採用されたモデルの逸脱度はマコガレイ、マアナゴでそれぞれ 30.12 と 18.74 であり、これらはそれぞれの有意水準 0.05 の棄却域 31.41 と 23.68 よ

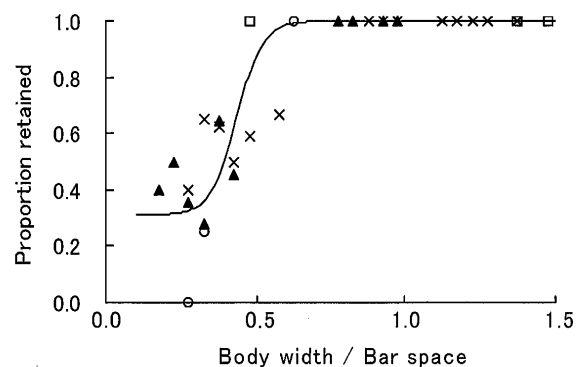
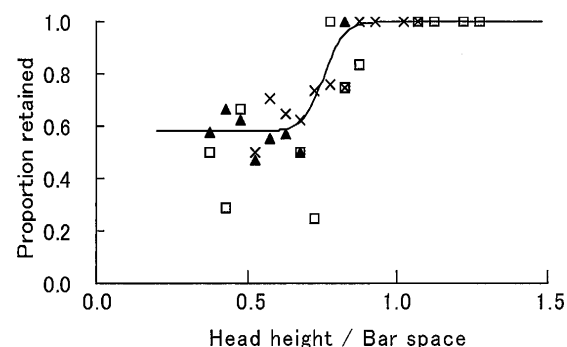
Pleuronectes yokohamae*Conger myriaster*

Fig. 3 Selectivity of grid separator for marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* plotted against a function of (body width)/(bar space) and that for white-spotted conger *Conger myriaster* plotted as a function of (head height)/(bar space). □: bar space 13 mm, ×: bar space 15 mm, ▲: bar space 20 mm, ○: bar space 24 mm.

り小さいので、採用されたマスターカーブは適合していると判断された。Fig. 3 にマコガレイでは相対体幅、マアナゴでは相対頭高に対してプロットした実測の選択率およびマスターカーブを示す。マコガレイに対するマスターカーブは、相対体幅がおよそ 0.3 から増加し、およそ 0.7 で選択率がほぼ 1 に達した。また、グリッドへの遭遇確率は 0.69 であった。マアナゴに対するマスターカーブは、相対頭高がおよそ 0.7 から増加し、およそ 0.9 で選択率がほぼ 1 に達した。また、グリッドへの遭遇確率は 0.42 であった。

考 察

マコガレイおよびマアナゴに対するマスターカーブ (Fig. 3) は、バー間隔に関わらず魚体の鉛直方向の厚みとバー間隔の比で表された。したがって、水平のバーを配置したグリッドの選択性は、魚体の鉛直方向の厚みとバー間隔の関係で決まると考えられる。

しかし、今回の試験ではマコガレイはおよそ 3 割、マアナゴはおよそ 6 割の個体がグリッドに遭遇していなかった (Table 1)。また、グリッドに遭遇した個体で

は、相対体幅または相対頭高が1より小さいのでグリッドを通過できるにもかかわらず、通過しない個体がマコガレイ、マアナゴともに認められた (Fig. 3)。これらの原因として、誘導網の機能が完全でなかったことが挙げられる。また、この他にグリッドに対する魚の行動が原因の一つになっていたと考えられる。

グリッドに対する魚の行動については、これまでに既にいくつかの研究が行われている。このうち、グリッドに対するヒラメ *Paralichthys olivaceus* の小型魚の行動を暗条件下で観察した水槽実験¹⁶⁾では、グリッドのバー間空間に頭から入った小型魚はそのままグリッドを通過した。しかし、尾部から入った場合、グリッドに遭遇した後、グリッドの上方に跳ね上がる個体が見られた。また、同実験では、近付いてくるグリッドを避けるようにグリッドの前方で泳ぐ個体も多く現れた。¹⁶⁾このような行動を起こす個体の割合は魚種によって異なると思われるが、マコガレイやマアナゴでもヒラメと同様な行動を起こす可能性は考えられる。今回の試験漁具では、グリッドの上方に袋網があるため、グリッドに遭遇し上方に跳ね上がった個体はそのまま袋網に入ると考えられる。このような行動があったために、バー間隔より小さい個体がグリッドに遭遇したものの、これを通過しなかったと考えることができる。また、グリッドへの遭遇確率が1にならなかったのは、グリッドを避けその前方で泳ぐという魚の行動に由来して起きたと考えられる。

東京湾の内湾における小型底びき網漁業では、マコガレイやマアナゴの他にクラゲ類、ヒトデ類、サメ類なども多く混獲され、特にクラゲ類やヒトデ類は1回の曳網で100~200 kg混獲されることもある。³⁾本漁具では呼称目合2寸 (61 mm) 又は同2.5寸 (76 mm) の仕切網をグリッドの前に取り付けしたが、この時、クラゲ類等は殆どが網目を通過できず、仕切網の前に保持された。仕切網がないと、大量に混獲されたクラゲ類等はそのままグリッドの前まで移動するが、グリッドを通過することはできないのでこれら生物はグリッドの前に滞留すると考えられる。この状況下では、グリッドの隙間が塞がれるため、マコガレイ小型魚の逃避は極端に低下すると考えられる。したがって、東京湾の内湾のように逃避させたい生物以外にも混獲される生物が多い海域では、このような生物がグリッドに到達する前に仕切網などで分離する二段階の分離方法が有効と考えられる。

マコガレイ小型魚を保護するには、今回開発した漁具を早急に漁業者へ普及させることが望ましい。マコガレイ小型魚に対する選択率は、グリッドのバー間隔が大きいほど低くなるので、これらの保護を考えるとバー間隔は大きい方がよい。しかし、バー間隔が広がると漁獲対象であるマアナゴが逃避する割合も高くなることから、普及にあたって適当と思われるバー間隔を以下で検討す

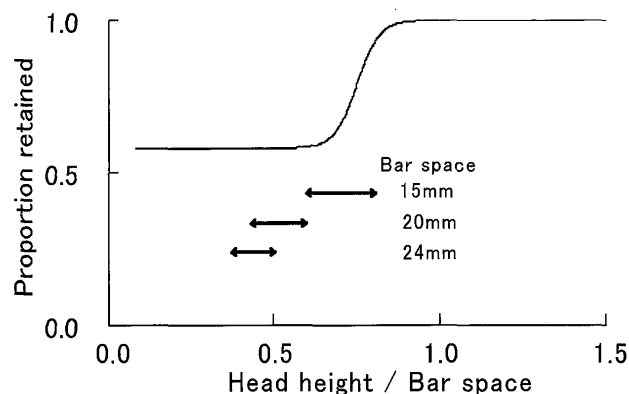


Fig. 4 Proportion retained of each bar space from the master curve. Three arrowed lines indicate the range of head height from 8 to 14 mm for white-spotted conger *Conger myriaster*.

る。なお、検討をおこなうに当たり、マコガレイの体幅組成およびマアナゴの頭高組成は今後大きく変わらないと仮定した。

まず、水揚物である全長 35 cm 以上のマアナゴがどの程度保持されるかを検討する。全長 35 cm 以上のマアナゴで出現割合が 8 割近くを占めた頭高範囲 (9~12 mm) について、相対頭高の範囲とマスターカーブを Fig. 4 に示す。頭高 9~12 mm のマアナゴに対する選択率は、バー間隔 20, 24 mm とともに 0.58 と求められる。したがって、全長 35 cm 以上のマアナゴがおよそ 4 割逃避することになるので、このバー間隔での普及は困難であると考えられる。次に、グリッドの使用によりマコガレイ小型魚がどの程度保護できるかを検討する。マスターカーブから 4 種類のバー間隔について体幅ごとに選択率を求め、その値を曳網試験による体幅組成 (Fig. 2) の各階級の個体数に乘じ、予想される漁獲個体数および逃避個体数を計算した (Fig. 5)。マコガレイ小型魚のうち出現割合が 9 割近くを占めた体幅 4~8 mm では、バー間隔 20, 24 mm の場合、半数以上の個体が逃避する。また、全階級合わせた選択率はバー間隔 20, 24 mm でそれぞれ 0.45, 0.40 であり、マコガレイ小型魚のうち 6~7 割はグリッドから逃避することになる。一方、バー間隔 13, 15 mm では、体幅 4~8 mm の個体の逃避は半数以下になる。また、全階級合わせた選択率はバー間隔 13, 15 mm でそれぞれ 0.75, 0.62 と求められる。したがって、バー間隔 15 mm ではおよそ 4 割の個体がグリッドから逃避する。これは、バー間隔 20, 24 mm でのマコガレイ小型魚の逃避割合 (6~7 割) より劣るものの、ある程度はマコガレイ小型魚の保護が期待できる。漁獲対象であるマアナゴの保持状況と合わせて考えると、試験した 4 種類のバー間隔の中では、15 mm が最も良くマコガレイ小型魚の逃避とマアナゴの保持の両面を達成していると考えられる。今後は、試

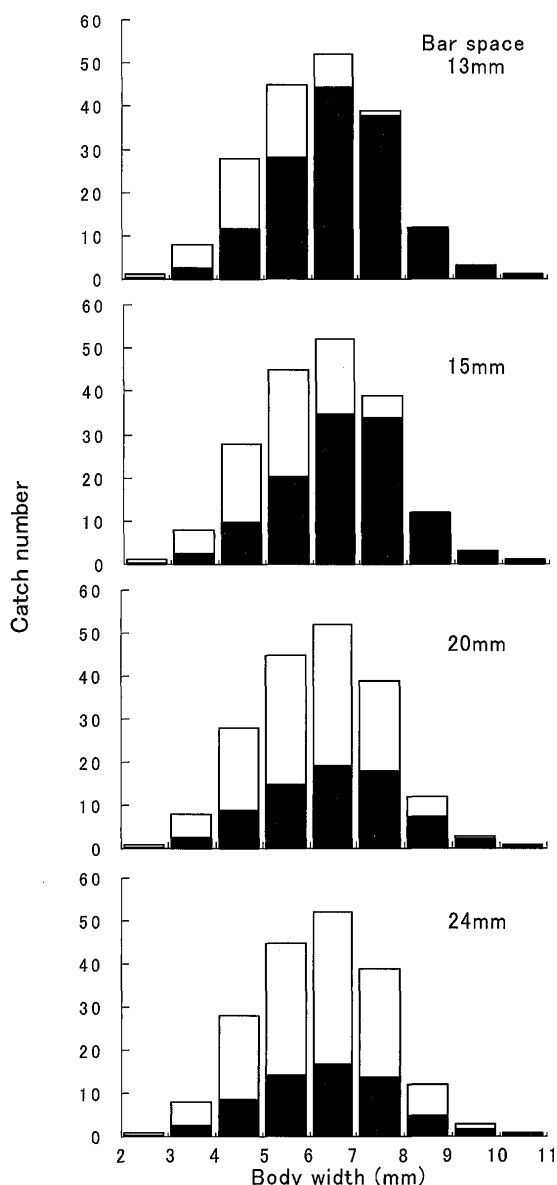


Fig. 5 Estimation of retained number in the codend and escaped number through the grid for marbled flounder with each bar space. The retention probability of each body width was calculated from the master curve on the assumption that the body width composition of the fish caught in the fishing experiment is representative of the fisheries resources. ■: retained number, □: escaped number.

験漁具の普及に向けて、バー間隔 15 mm の漁具を実際の操業で使用し、水揚金額や作業性を通常のあなご網と比較する必要がある。

謝 辞

試験操業を実施するに当たり、多大なご協力をいただいた内湾底びき網連絡協議会および協議会会員各位、並びに試験を行うにあたり漁業者との連絡・調整をして頂いた千葉県漁業協同組合連合会に感謝いたします。

文 献

- 1) 千葉県農林水産統計年報. 関東農政局千葉統計・情報センター, 千葉. 1985~2004.
- 2) 永山聡司. 東京湾内湾におけるマコガレイ稚魚の分布について. 千葉水研研報 2005; 4: 17-34.
- 3) 大畑 聡, 池上直也, 仲村文夫. 東京湾の小型底びき網のあなご網操業におけるマコガレイ小型魚の混獲実態. 千葉水研研報 2005; 4: 1-5.
- 4) 有山哲之, 日下部敬之, 大美博昭, 辻村浩隆. 石柵網で漁獲されたマコガレイ小型魚の再放流後の生残について. 大阪水試研報 2004; 15: 17-21.
- 5) 東海 正, 伊東 弘, 正木康昭, 上城義信, 横松芳治. 小型底びき網(手繰第2種, エビ漕ぎ網)のカレイ類に対する網目選択性. 南西水研研報 1989; 22: 35-46.
- 6) 西川哲也, 反田 實, 長浜達章, 東海 正. 大阪湾の小型底曳網におけるマアナゴの網目選択性. 日水誌 1994; 60: 735-739.
- 7) 内田圭一, 東海 正, 胡 夫祥, 松田 皎. カバーネット法によるマアナゴに対するかご網の網目選択性. 日水誌 1998; 64: 815-821.
- 8) 山崎 淳, 大木 繁, 飯塚 覚. 柵網試験操業によるヤナギムシガレイの網目選択性. 日水誌 2001; 67: 1082-1088.
- 9) Tokai T, Omoto S, Sato R, Matuda K. A method of determining selectivity curve of separator grid. *Fish. Res.* 1999; 27: 51-60.
- 10) Zuur C, Fryer RJ, Ferro RST, Tokai T. Modelling the size selectivities of a trawl codend and an associated square mesh panel. *ICES J. Mar. Sci.* 2001; 58: 657-671.
- 11) 東海 正. MS-Excel のソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究 1997; 61: 288-298.
- 12) 大本茂之, 東海 正. 漁具の分離部位による S 字型サイズ選択性曲線の決定. 「漁具の選択性の評価と資源管理」(東海 正・北原 武編) 恒星社厚生閣, 東京. 2001; 30-39.
- 13) 松下吉樹. 曳網における分離装置の機能とその評価. 「漁具の選択特性の評価と資源管理」(東海 正・北原 武編) 恒星社厚生閣, 東京. 2001; 62-70.
- 14) 西内修一. 比較操業実験法と SELECT モデル. 「漁具の選択性の評価と資源管理」(東海 正・北原 武編) 恒星社厚生閣, 東京. 2001; 51-61.
- 15) 北門利英. 選択性曲線の統計的推定. 「漁具の選択性の評価と資源管理」(東海 正・北原 武編) 恒星社厚生閣, 東京. 2001; 71-80.
- 16) Matsushita Y, Fujita K, Ikegami N, Ohata S. Reaction of juvenile flounder to grid separators. *ICES J. Mar. Sci.* 2004; 61: 1174-1178.