

## ポケットケージを用いて推定したベニズワイガニ籠のサイズ選択性

渡部俊広\*<sup>1</sup>・山崎慎太郎\*<sup>1</sup>

### Size selectivity of the red queen crab trap estimated with pocket cages

Toshihiro WATANABE\*<sup>1</sup> AND Shintaro YAMASAKI\*<sup>1</sup>

**Abstract** To estimate the size selectivity of the trap for the red queen crab *Chionoecetes japonicus* without control traps, fishing experiments were conducted with commercial traps modified with pocket cages. The pocket cage was box-shaped, consists of iron rod frames and netting. Two pocket cages were fixed symmetrically on the side of a trap and these cages covered a part of the netting and the circular escape vents (100 mm inner diameter). Soak time was approximately 2 days. The size frequency distributions were obtained from catches of traps, pocket cages on the netting and pocket cages on the escape vents. The size selectivity curves of the trap and the vented trap were estimated by the SELECT model using the likelihood of a multinomial distribution from the proportions taken in the trap and pocket cages catch to the total catch of each carapace width class. The 50% retention carapace width of the trap and the selection range (difference from 75% to 25% retention carapace width) were estimated to be 89.4 mm and 7.2 mm, respectively. This estimation method using pocket cages is practical, because size selectivity can be estimated, even though the operation frequency and fishing effort are small.

**Key words:** crab trap, red queen crab (*Chionoecetes japonicus*), pocket cage, size selectivity  
SELECT model

籠漁具の漁獲サイズ選択性を推定する際、一般に試験籠より網目の小さい籠を対照籠として用いる (Xu and Millar, 1993; Jeong *et al.*, 2000; 西内, 1999; 西内, 2003; 安達, 1988; Sinoda and Kobayasi, 1969; 渡部, 2005a)。対照籠は、漁獲対象種に対して、全ての大きさの個体を資源密度に応じ漁獲していることが前提となる (Jeong *et al.*, 2000; Sinoda and Kobayasi, 1969)。しかし、漁獲対象種によっては、籠内の密度が高くなることにより (Miller, 1990)、対照籠の漁獲サイズに選択性が生じ、この前提が成立しないことがある。例えば、ベニズワイガニでは雌の漁獲が著しく多くなると、雄の漁獲が少なくなり、特に大型個体が少なくなる (渡部・本多, 2005)。また、漁獲サイズ選択性を求めるために、対照籠と試験籠の両方に十分な漁獲が必要になり、そのために使用する漁具の数量を増加し

たり、操業が長期間にわたって繰り返行われたりすることがある (内田ら, 2000)。対照籠を用いないで、籠の漁獲サイズ選択性を求めることができれば、より簡便な手法として利用価値が高い。このような方法として、カバーネットを取りつけた籠による漁獲試験から、籠の漁獲サイズ選択性を求めた例がある (内田ら, 1998)。しかし、その研究例は少ない (小池・小倉, 1977; 小池ら, 1981; 竹内, 1988)。

本研究では、ベニズワイガニ *Chionoecetes japonicus* を対象にした籠漁業で用いられている籠 (以下、商業籠と呼ぶ) の側面外側に、直方体状の籠 (以下、ポケットケ - ジ; Pocket cageと呼ぶ) を取りつけて、商業籠の網目または脱出口を通過してポケットケ - ジで漁獲された個体とポケットケ - ジをつけた商業籠本体で漁獲された個体から、商業籠の網目と脱出口の漁獲

サイズ選択性を推定した。ただし、脱出口をつけた場合、網目からもベニズワイガニが抜けるので、本研究では脱出口の漁獲サイズ選択性とは、脱出口をつけた網地面における漁獲サイズ選択性を意味する用語とする。漁獲サイズ選択性曲線は、西内（1999, 2003）ならびに渡部（2005a）の方法と同様に多項分布の尤度を用いたSELECTモデル（Millar, 1992；Millar and Walsh, 1992；Millar and Fryer, 1999）によって求めた。また、あわせてポケットケ - ジの漁獲から、商業籠に入ったベニズワイガニの網目や脱出口（Krouse, 1978；Brown, 1982；Treble *et al.*, 1998；Nulk, 1978；武野, 1996；Stasko, 1975；Fogarty and Borden, 1980；Krouse and Thomas, 1975）からの逃避について検討した。

## 方 法

**ポケットケージをつけた商業籠による漁獲試験** ポケットケージをつけた商業籠による漁獲試験を、漁業調査船第三開洋丸（総トン数 474トン）を用いて、1994年10月3日から10月14日にかけて島根県沖、隠岐諸島西方の水深870～1100mの海域で行った（Fig.1）。商業籠の籠側面の網目と脱出口からのベニズワイガニの脱出を確認するために、目合100mmの網地と鉄製フレ - ムで構成されたポケットケージ2個を商業籠（目合150mm, 渡部・山崎, 1999を参照）の籠側面の外側を覆うように、左右対称に取りつけた（Fig.2）。1つのポケットケージが商業籠の底面の円周に対して占める割合は1/6である（Fig.2）。ポケットケージは、ベニズワイガニの網目からの通過と脱出口をつけた網地面からの通過を調べるために、Fig.3に示したように両側とも脱出口をつけた網地面を覆った場合（EE）と網地面を覆った場合（NN）、および漁獲サイズ選択性を調べるために網地面と脱出口をつけた網地面を覆った場合（EN）の3通りの方法で取りつけた。脱出口は、本研究ではポケットケージで覆う部分の側面最下部に2個取りつけた（Fig.2）。脱出口には、呼称内径100mmのステンレス製リング（平均内径；103.0mm, 標準偏差；0.7mm）を用いた（渡部, 2005a）。

ポケットケ - ジをつけた商業籠を含む合計20個の籠（商業籠や餌条件の異なる商業籠、ならびに網を生分解性プラスチックで製作した籠などが含まれる）で構成された1連の籠漁具を用いて、漁獲試験を合計4回行った。これらの籠には餌料としてマサバ3～5尾（尾叉長約23cm）を用いた。20個の籠のうち、2～7個の籠に前述した3通りの方法でポケットケージを取りつけた。操業番号、ポケットケージを取りつけた商業籠の数量、取り付け条件をTable 1に示した。籠漁具の

浸漬時間は、約38時間から98時間であった。本研究では、浸漬時間を1連の籠漁具の投縄終了時刻から揚縄開始時刻までとした。漁獲したベニズワイガニは籠ごとに漁獲個体数を雄と雌に分けて計数した。また、ポケットケ - ジをつけた商業籠では、商業籠本体とそれぞれのポケットケ - ジの取り付け条件ごとに漁獲個体数を雄と雌に分けて計数した。甲幅は、雄については全数、雌については商業籠本体とそれぞれのポケットケ - ジの漁獲個体数が30尾以下の場合全数を、雌の漁獲個体数が30尾より多い場合は、重複しないように無作為に選んだ少なくとも30尾について1mm単位で測定した。これらの漁獲資料から、漁獲された各部位における甲幅組成や漁獲個体数について比較した。ただし、ポケットケージをつけた商業籠本体、脱出口をつけた網地面を覆ったポケットケージならびに網地面を覆ったポケットケージの漁獲を比較する場合には、多重比較検定法を用いた。

商業籠の網目と脱出口の雄の漁獲サイズ選択性曲線を推定するために、Op-1（浸漬時間；2昼夜）のポケットケージをつけた商業籠（計6籠）の雄の漁獲資料を用いた。ただし、ポケットケージをつけたことによって商業籠本体の漁獲に影響があると、後述する漁獲サイズ選択性曲線の推定に影響を与えてしまう。そこで、Op-4では商業籠（合計5個）と両側とも網地面を覆ったポケットケージ（NN）をつけた商業籠を用いて漁獲試験をおこなったので、両方で雄の甲幅組成に差がないことを調べた。

**漁獲サイズ選択性曲線の推定法** ケガニ籠、ベニズワイガニ籠やズワイガニ籠の網目の漁獲サイズ選択性曲線にはLogistic式が用いられている（Xu and Millar, 1993；Jeong *et al.*, 2000；西内, 1999；渡部, 2005a）。本研究でも、漁獲サイズ選択性曲線にLogistic式を用いた。ここではポケットケージをつけた商業籠に入ったベニズワイガニの雄に着目する。ポケットケージをつけた商業籠に入った甲幅  $l$  のベニズワイガニの雄に対して、商業籠の網目の選択性  $r_n(l)$  を

$$r_n(l) = \frac{1}{1 + \exp(a_1 + b_1 l)} \quad (1)$$

のLogistic式で表す。次に、ポケットケージをつけた商業籠に入った甲幅  $l$  のベニズワイガニの雄に対して商業籠に脱出口をつけ網地面の選択性  $r_e(l)$  を

$$r_e(l) = \frac{1}{1 + \exp(a_2 + b_2 l)} \quad (2)$$

のLogistic式で表す。また、ポケットケージをつけた商業籠にベニズワイガニの雄  $\lambda$  個体が入り、網地面を

覆ったポケットケージ部分, 脱出口をつけた網地面を覆ったポケットケージ部分, ならびにポケットケージをつけていない部分に接触する確率(以下, 接触確率と呼ぶ)をそれぞれ  $p_1, p_2, p_3$  とすると, 網地面に取りつけたポケットケージ(以下, 網目ケージと呼ぶ)に甲幅  $l$  の個体が網目を通過して漁獲される個体数  $\varphi(l)$  は次式で表せる (Fig.4).

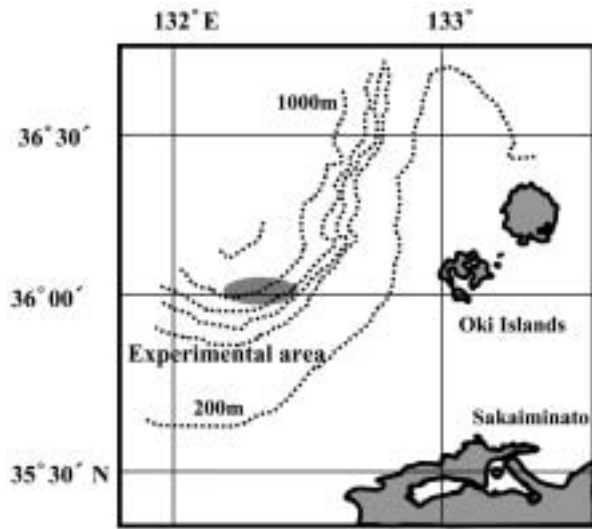


Fig. 1 Map showing the experimental water area to the west of the Oki Islands in the Japan Sea.

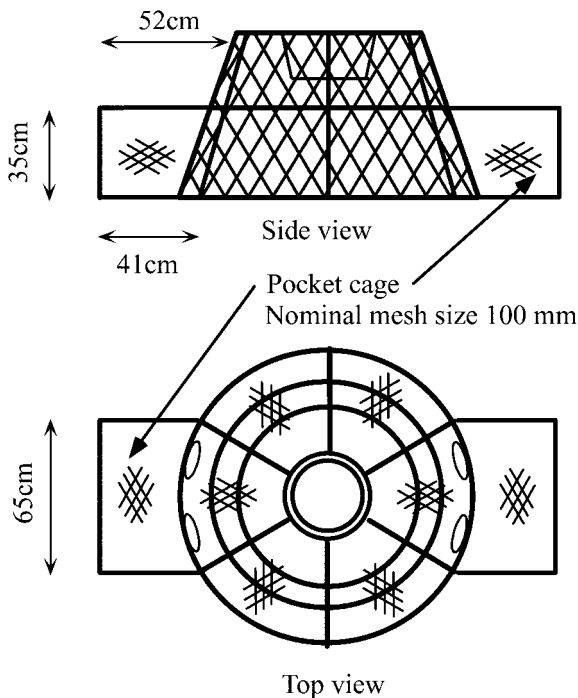


Fig.2 Schematic diagram of the commercial trap modified with pocket cages used in the fishing experiment.

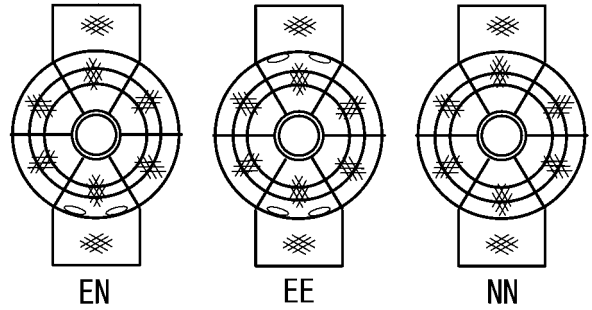


Fig. 3 Arrangement of traps modified with two pocket cages. EN, Circular escape vents and side netting were covered with pocket cages respectively. EE, circular escape vents were covered with pocket cages. NN, Side netting were covered with pocket cages.

$$\varphi_1(l) = p_1 \lambda (1 - r_n(l)) \quad (3)$$

同様にして, 脱出口をつけた網地面を通過してポケットケージ(以下, 脱出口ケージと呼ぶ)に甲幅  $l$  の個体が漁獲される個体数  $\varphi(l)$  は次式で表せる。

$$\varphi_2(l) = p_2 \lambda (1 - r_e(l)) \quad (4)$$

ポケットケージをつけた商業籠本体に甲幅  $l$  の個体が漁獲される個体数  $\varphi(l)$  は次式で表せる。

$$\varphi_3(l) = p_1 \lambda r_n(l) + p_2 \lambda r_e(l) + p_3 \lambda r_m(l) \quad (5)$$

ただし,

$$\sum_{m=1}^3 p_m = 1 \quad (6)$$

である。 $m$ は,(3),(4),(5)式で示したように漁獲される部位を示す( $m=1,2,3$ )。また, ポケットケージに入った個体は再び商業籠には戻らないと仮定すると, ポケットケージをつけた商業籠本体ならびに各ポケットケージによって漁獲された総個体数に対して, それぞれの部位で漁獲される個体数の割合  $p_m$  ( $m=1,2,3$ ) は次式で表せる。そして,(3),(4),(5)式を代入することで $\lambda$ は分母分子から消去される。

$$r_m(l) = \frac{\varphi_m(l)}{\sum_{m=1}^3 \varphi_m(l)} \quad (7)$$

ポケットケージをつけた商業籠本体ならびに各ポケットケージで甲幅  $l$  のベニズワイガニが合計  $N_l$  個体漁獲されるとき, 網目ケージで  $C_n$  個体, 脱出口ケージで  $C_e$  個体, ポケットケージをつけた商業籠本体で  $C_m$  個体漁獲される確率  $R(C_{lm})$  は積多項分布となり, 次式で表せる。

$$P_l = \frac{N_l!}{\prod_{m=1}^3 (C_{lm}!)^{C_{lm}}} \prod_{m=1}^3 \phi_m(l)^{C_{lm}} \quad (8)$$

各甲幅階級  $l$  ( $n=1 \sim n_L$ ) 毎に  $C_{l1}$ ,  $C_{l2}$ ,  $C_{l3}$  個体が漁獲される確率は積多項分布となり, パラメータ推定に影響しない定数項を除いた次式の対数尤度関数を用いて, パラメータの推定をおこなった。

$$\begin{aligned} \ln L(a_1, a_2, b_1, b_2, p_m | C_{l1}, C_{l2}, C_{l3}) \\ = \sum_{n=1}^{n_L} \sum_{m=1}^3 C_{l_{nm}} \ln \phi_m(l_n) \end{aligned} \quad (9)$$

以下, 西内 (1999) と同様の手順により, (1)式と(2)式のLogistic式のパラメータ, 接触確率  $p_m$  を表計算ソフトMS-Excelのソルバ - を用いて求めた (東海, 1997, 東海・三橋, 1998)。

これらのパラメータは, 以下の2つのモデルについて求めた。ひとつは, 接触確率  $p_m$  が, それぞれ商業籠の底面の円周に対してポケットケージが占める割合に等しいと仮定したモデルであり, もうひとつは異なると仮定したモデルである。すなわち, 1つのポケットケージは商業籠の底面の円周の1/6を占めているので, 前者のモデルの接触確率は, 網目ケージで  $p_1=1/6$ , 脱出口ケージで  $p_2=1/6$ , それ以外の網地面で  $p_3=4/6$  となった (斎浦・東海, 2003)。

この2つのモデルの選択を行うために, 次の比較を行った。2つのモデルの標準化残差から逸脱度 (対数尤度比統計量) を求めて (Wileman *et al.*, 1996), 尤度比検定を行いモデルの適合性について検討した (山田・北田, 1997)。

自由度は, 接触確率  $p_m$  がそれぞれのポケットケージが商業籠の底面の円周に占める割合に等しいと仮定したモデルでは,  $n \times (m-1) - s$  から求め, 異なると仮定したモデルでは,  $n \times (m-1) - (s+m-1)$  から求めた (Fujimori and Tokai, 2001)。ここで,  $n$  は甲幅階級数,  $m$  は漁獲された部位数 (本研究では  $m=3$ ),  $s$

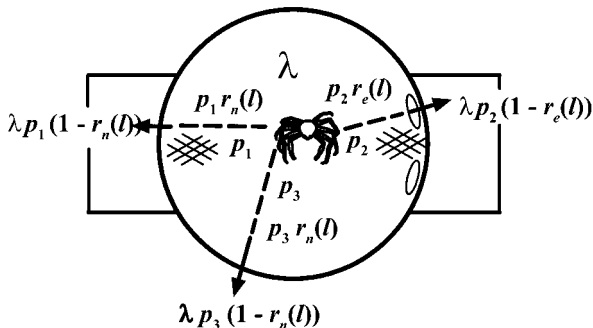


Fig. 4 Schematic diagram of the selection process in a trap and pocket cages respectively.

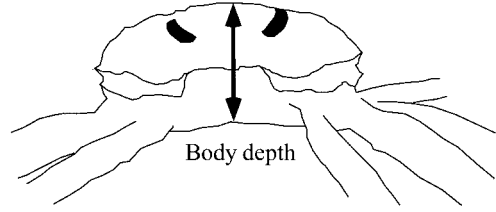


Fig. 5 Measuring region as body depth. Body depth was measured from the highest point dorsally to the lowest point ventrally (Females included eggs).

はモデルのLogistic式パラメータ数である。そして, 赤池の情報量規準AIC (Akaike's Information Criterion) によって適切なモデルを選択した (Fujimori and Tokai, 2001)。次に, 商業籠の網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を比較するために, 50%選択甲幅  $l_{50}$  および選択性スパン ( $l_{75} - l_{25}$ ) をLogistic式のパラメータから求めた (東海, 1997)。最後に, 網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を別々の曲線で扱うべきか, 一つの曲線で扱うべきかをそれぞれモデルをおいて求めて, AICを比較することによって検討した (大本ら, 1998)。

**ベニズワイガニの外部形態測定** 漁業調査船第三開洋丸を用いて1992年10月23日から11月20日および1993年11月1日から11月30日にかけてFig.1で示される水深900~1100mの海域で商業籠による操業を行った。脱出口の大きさを検討するために, 漁獲された個体からベニズワイガニの甲幅と甲長 (額棘をふくむ最大部の長さ) および甲殻の背面から腹面の間の最も厚い部分の長さ (Fig.5, 以下, 甲高と呼ぶ) を0.1mm単位で測定した。抱卵している雌も同様にして計測した。これらの資料から, 甲幅と甲長および甲幅と甲高との関係をそれぞれ散布図にまとめ, それぞれ回帰式と相関係数を求めて, 脱出口の形状と大きさについて検討した。

## 結 果

**ポケットケージにおける漁獲** ポケットケージの取りつけ条件, 浸漬時間, 雌雄別の漁獲個体数, ならびに1籠または1ポケットケージあたりの漁獲個体数等を漁獲試験毎にTable1に示した。Op-1とOp-4におけるポケットケージをつけた商業籠 (NE) 計13個について (Table1), ポケットケージをつけた商業籠本体と脱出口ケージならびに網目ケージにおける漁獲個体数を比較した。雄は, 脱出口ケージと網目ケージでの漁獲より商業籠本体における漁獲個体数が多く (Steel-Dwass検定  $P<0.01$ ), 脱出口ケージと網目ケージの漁

Table 1 Number of traps and pocket cages used, catch number of traps and pocket cages and catch number per trap or cage

Operation no.	Experimental conditions <sup>*1</sup>	Soak time (Hours)	Number of traps with pocket cages	Number of pocket cages		Catch number						Catch number per trap or cage					
				Escape	Net	Male			Female			Male			Female		
						Trap <sup>*2</sup>	Escape <sup>*3</sup>	Net <sup>*4</sup>	Trap	Escape	Net	Trap	Escape	Net	Trap	Escape	Net
Op - 1	EN	37.9	6	6	6	96	15	6	89	187	152	16.0	2.5	1.0	14.8	31.2	25.3
Op - 2	EE	43.9	2	4	0	36	9	-	57	123	-	9.0	2.3	-	14.3	30.8	-
Op - 3	EE	73.9	4	8	0	78	45	-	6	50	-	9.8	5.6	-	0.8	6.3	-
Op - 4	EN	98.0	7	7	7	79	2	1	28	132	102	11.3	0.3	0.1	4.0	18.9	14.6
	NN		3	0	6	45	-	8	19	-	150	7.5	-	1.3	3.2	-	25.0
Total			22	25	19	334	71	15	199	492	404	15.2	2.8	0.8	9.0	19.7	21.3
Mean carapace width (mm)						101.3	87.7	84.7	71.1	70.1	71.4						
Standard deviation (mm)						10.2	7.0	5.5	5.4	4.6	5.0						

\*1 Experimental conditions were shown in Fig. 3.

\*2 Catch number of traps.

\*3 Catch number of pocket cages which covered escape vents.

\*4 Catch number of pocket cages which covered the side netting of trap.

獲個体数には差がなかった (Steel-Dwass検定  $P>0.05$ )。一方、雌は商業籠本体の漁獲個体数より脱出口ケージと網目ケージでの漁獲個体数の方が多く (Steel-Dwass検定  $P<0.05$ )、脱出口ケージと網目ケージの漁獲個体数には差がなかった (Steel-Dwass検定  $P>0.05$ )。したがって、雌は網目を容易に通過できることを確認した。また、浸漬時間の増加とともに、雌は商業籠本体での漁獲が減少し、浸漬時間が73.9時間経過以降では、商業籠本体における漁獲が著しく少なくなった (Table 1)。

商業籠本体ならびに脱出口ケージと網目ケージで漁獲された個体の甲幅組成をFig.6に、平均甲幅等をTable1に示した。雌の甲幅組成については、それぞれの部位で漁獲された個体から重複しないようにして任

意に選んだ100個体 (測定個体数が多くなると、測定精度より標準誤差が小さくなるため) について、等分散であることを確認してから (Bartlett検定,  $P=0.21$ )、平均甲幅を比較したところ差はなかった (一元配置分散分析,  $P=0.52$ )。Fig.6からも、雌は脱出口と網目を容易に通過していたことがわかる。雄は、網目ケージで甲幅75mm~93mmの個体が合計15尾、脱出口ケージで甲幅72mm~102mmの個体が合計71尾、商業籠本体で甲幅75mm~138mmの個体が合計334尾漁獲された (Table 1)。商業籠本体と網目ケージおよび脱出口ケージで漁獲された個体の甲幅組成には差があった (Kruskal-Wallis検定  $P<0.001$ )。

次に、ポケットケージをつけたことによって商業籠本体で漁獲された個体の甲幅組成が変化していないことを確認するために、Op-4における商業籠 ( $n=57$ ) と両側とも網地面を覆ったポケットケージをつけた商業

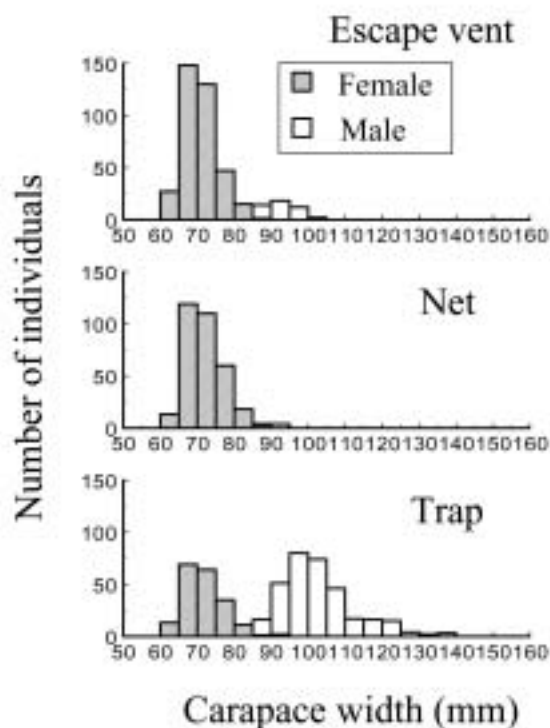


Fig. 6 Carapace width distributions of the trap and the pocket cages which covered the escape vents and side netting

Table 2 Size-frequency distributions of male red queen crab obtaining from Op-1 by commercial trap, commercial trap with pocket cages and pocket cage

Caparace width class (mm)	Trap with poket cage	Pocket cage	
		Escape	Net
65-69	0	0	0
70-74	0	1	0
75-79	1	1	1
80-84	0	3	0
85-89	6	3	3
90-94	24	3	2
95-99	24	3	0
100-104	18	1	0
105-109	12	0	0
110-114	7	0	0
115-119	1	0	0
120-124	2	0	0
125-129	0	0	0
130-134	0	0	0
135-139	1	0	0
140-145	0	0	0
Total catch number	96	15	6

籠本体 (n=45) とで漁獲された雄の甲幅組成について比較したところ差はなかった (Kolmogorov-Smirnov の 2 試料検定  $P > 0.05$ )。そこで、商業籠の網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を求めるために、Op-1 のポケットケージをつけた商業籠の漁獲試料から、各部位毎に 5 mm 間隔の甲幅階級頻度分布を求めた (Table 2)。

**商業籠の網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線** 甲幅階級頻度分布 (Table 2) から、接触確率  $p_m$  が、それぞれ商業籠の底面の円周に対してポケットケージが占める割合に等しいと仮定したモデルと、異なると仮定したモデルについて求めた Logistic 式のパラメータを Table 3 に示した。接触確率  $p_m$  がそれぞれ商業籠の底面の円周に対してポケットケージが占める割合に等しいと仮定したモデルでは  $P$  値は 0.551、接触確率  $p_m$  が異なると仮定したモデルでは  $P$  値は 0.559 であった。逸脱度を求めて尤度比検定したところ両モデルとも適合の欠落は認められなかった。しかし、接触確率  $p_m$  がそれぞれ商業籠の底面の円周に対してポケットケージが占める割合に等しいと仮定したモデルの方が AIC の値が小さかった。また、網目の 50% 選択甲幅は 89.4mm、選択性スパンは 7.2mm であった。一方、接触確率  $p_m$  がそれぞれ商業籠の底面の円周に対してポケットケージが占める割合と異なると仮定したモデルでは、網目の 50% 選択甲幅は 93.5mm、選択性スパンは 7.6mm であった。過去に行った浸漬時間が 2 日間のベニズワイガニ籠による漁獲試験では、甲幅 95mm 以下の個体が多く漁獲された (渡部・山崎, 1999b) ので、AIC の値が小さかった、接触確率  $p_m$  がそれぞれ商業籠

の底面の円周に対してポケットケージが占める割合と等しいと仮定したモデルが適切と判断した (Table 3)。このモデルについて、甲幅  $l$  のベニズワイガニが商業籠、網目ケージと脱出ケージのいずれかに漁獲される個体数の割合を Fig.7 に示した。Fig.7 は、選んだモデルによる推定値と実測値を目視により適合性を比較するために図示した。このモデルから推定された商業籠と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を Fig.8 に示した。網目の漁獲サイズ選択性曲線より脱出口の漁獲サイズ選択性曲線の方が右側にあった。脱出口をつけた網地面の 50% 選択甲幅は 97.1mm、選択性スパンは 10.3mm であった (Table 3)。また、網目と脱出口の漁獲サイ

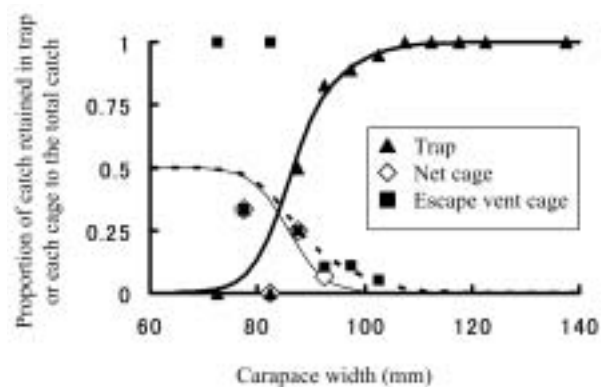


Fig.7 Plots of the proportion taken in the commercial trap, the pocket cage which covered circular escape vents and the pocket cage which covered netting to the total catch for each class of carapace width and fitted curves.

△, commercial trap; ----, pocket cage which covered circular escape vents; ▽, pocket cage which covered netting.

Table 3 Values of parameter in the selection curves for escape vent and mesh of trap

Trap region	$p_m$ fixed					$p_m$ estimated				
	$a_i^{*1}$	$b_i^{*1}$	$p_m^{*2}$	$l_{50}$ (mm) <sup>*3</sup>	SR(mm) <sup>*4</sup>	$a_i^{*1}$	$b_i^{*1}$	$p_m^{*2}$	$l_{50}$ (mm) <sup>*3</sup>	SR(mm) <sup>*4</sup>
Mesh (150mm)	27.203	-0.304	0.167	89.4	7.2	26.877	-0.288	0.046	93.5	7.6
Escape vent	20.734	-0.214	0.167	97.1	10.3	28.761	-0.281	0.080	102.4	7.8
MML						- 51.0				
AIC						114.0				
Ho: Model fit										
Model deviance	18.561					16.479				
d.f.	20					18				
P value	0.551					0.559				
Ho: $p_m$ is fixed										
Model deviance						2.082				
d.f.						2				
P value						0.353				

\*1 The parameters of logistic equation:  $r(l) = 1 / [1 + \exp(-a + bl)]$ , where  $r(l)$  is the retention probability, and  $l$  is the carapace width.

\*2  $p_m$  is encounter probability

\*3 Carapace width of 50% retention probability.

\*4 Selection range defined as  $h_{75}$  (carapace width of 75% retention) -  $h_{25}$  (carapace width of 25% retention).

Table 4 Values of parameter in the selection curve for the Two-curve model and the single-curve model.

Trap region	Two-curve model					Single-curve model				
	$a_i^{*1}$	$b_i^{*1}$	$\rho_m^{*2}$	$l_{50}$ (mm) <sup>*3</sup>	SR(mm) <sup>*4</sup>	$a_i^{*1}$	$b_i^{*1}$	$\rho_m^{*2}$	$l_{50}$ (mm) <sup>*3</sup>	SR(mm) <sup>*4</sup>
Mesh (150mm)	27.203	- 0.304	0.167	89.4	7.2	19.36	- 0.2111	0.167	91.8	10.4
Escape vent	20.734	- 0.214	0.167	97.1	10.3					
MML		- 51.5							- 53.6	
AIC		111.0							111.2	
Ho: Model fit										
Model deviance	18.561					23.286				
d.f.	20					22				
P value	0.551					0.386				
Ho: $\rho_m$ is fixed										
Model deviance						4.725				
d.f.						2				
P value						0.094				

\*1 The parameters of logistic equation:  $\kappa(l) = 1/[1 + \exp(a + bl)]$ , where  $\kappa(l)$  is the retention probability, and  $l$  is the carapace width.

\*2  $\rho_m$  is encounter probability

\*3 Carapace width of 50% retention probability.

\*4 Selection range defined as  $l_{75}$  (carapace width of 75% retention) -  $l_{25}$  (carapace width of 25% retention).

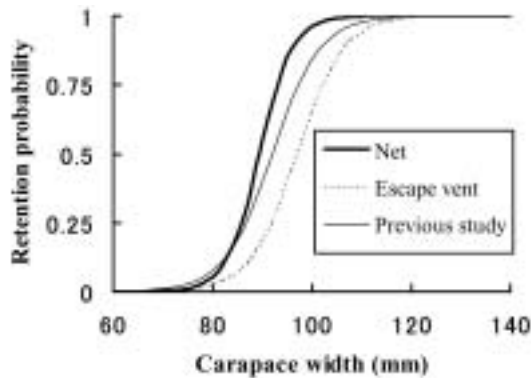


Fig.8 Selectivity curves of the commercial trap, the circular escape vent (100mm in diameter) and the result of the previous study (Jeong *et al.*, 2000).

ズ選択性曲線を別々の曲線で扱うべきか、一つの曲線で扱うべきかをAICによって比較したところ、AICは別々の曲線の場合110.0、一つの曲線で扱った場合111.2と、別々の曲線として扱った方が僅かに小さかった (Table 4)。

**ベニズワイガニの外部形態** 雄155個体と雌26個体からベニズワイガニの甲幅と甲長ならびに甲幅との関係を散布図にしてFig.9に示した。雌雄とも甲幅に比例して甲長も増加した (雄:  $r=0.99$ ,  $P<0.001$ ; 雌:  $r=0.96$ ,  $P<0.001$ )。甲幅150mmまでの雄は、甲幅に較べ甲長が僅かに長かった。一方、雌では甲幅が72mmより大きい個体は甲幅に較べ甲長が僅かに長かった。雌雄ともに甲幅に比例して甲高も増加した (雄:  $r=0.94$ ,  $P<0.001$ ; 雌:  $r=0.71$ ,  $P<0.001$ )。しかし、雌では抱卵し

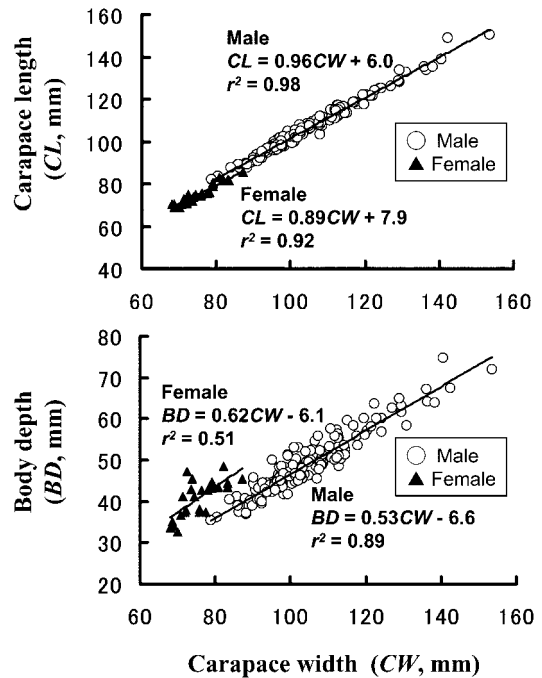


Fig.9 Relationships between carapace width, carapace length and body depth.

た個体と抱卵していない個体とでは、甲高が著しく異なり、雄に比較して相関係数は低かった (相関係数の違いの検定,  $P<0.001$ )。また、抱卵している雌では、同じ甲幅の雄より甲高は長かった (Fig.9)。

### 考 察

籠上面にプラスチック製の返しのある入り口をもつ

籠では、入り口から脱出する個体はほとんどないとされている (Miller, 1990; Hébert *et al.*, 2001)。このため、籠から脱出する個体は、網目を通過することになる。本研究では、小型のベニズワイガニが網目または脱出口 (呼称内径100mm) をつけた網地面を通過することができることを確認するために、ポケットケージを用いた漁獲試験をおこなった。この漁獲試験は、籠に入ったベニズワイガニは籠側面の下側の網目から多くの個体が脱出していることを仮定して行ったことになる。水中ビデオカメラの観察からは、籠に入ったベニズワイガニは、籠側面と上面を含む内部を動き回り、その際籠内の上部にいる時は、少なくとも両側の鉗脚または歩脚を用いて体を支えていた (渡部, 2005b)。網目を通過するためには、片側の鉗脚と歩脚が全て1つの網目に入っていないとしないので、両側の鉗脚または歩脚を用いて体を支えている状態から、網目を通過することは困難と考える。また、違法ではあるが、商業籠側面の底面に近い網目の結節間を網糸で新たに結び実質的に網目を小さくすると、商業籠の漁獲が多くなると言われている。したがって、籠に入ったベニズワイガニは籠の底面に近い側面の網目から脱出すると考えられるので、商業籠からの脱出を確認するためのポケットケージの取り付け位置は妥当であったと判断する。

商業籠と両側とも網地面を覆ったポケットケージをつけた商業籠を用いて漁獲試験をおこなったOp-4について、漁獲された雄の甲幅組成について両者を比較したところ差はなかった。ポケットケージをつけたことによって漁獲が影響されていなかったと推測する。そこで、次に漁獲サイズ選択性曲線 (Fig.8) の妥当性について検討する。漁獲サイズ選択性曲線を推定した際、ポケットケージ (目合100mm) からの脱出は考慮していない。本研究で用いた商業籠とほぼ同じ構造のベニズワイガニ籠の漁獲サイズ選択性曲線を求めた Jeong *et al.* (2000) の研究では、目合95mmの籠を対照籠として用いた。それによると目合95mmと目合112mmの籠の50%選択甲幅と選択性スパンには差がなかった (Jeong *et al.*, 2000)。すなわち、目合100mmの籠は対照籠として用いることができることになる。したがって、本研究で漁獲した雄についても、ポケットケージからの脱出はなかったと推定する。そこで、本研究で推定した商業籠の網目の漁獲サイズ選択性曲線の妥当性を検討するために、Jeong *et al.* (2000) が推定した、本研究で用いた商業籠とほぼ同じ構造の目合152mmのベニズワイガニ籠の漁獲サイズ選択性曲線をFig.8に示し、本研究結果と比較した。両者の漁獲サイズ選択性曲線は類似しているものの、Jeong *et*

*al.* (2000) が推定した漁獲サイズ選択性曲線の方が、本研究で推定した漁獲サイズ選択性曲線より右側にある。Jeong *et al.* (2000) は浸漬時間が5日間以上の漁獲資料から漁獲サイズ選択性曲線を推定した。本研究では浸漬時間が約2日間であったため、この差は浸漬時間の違いによるものと考えられる。浸漬時間が長くなると小型個体が商業籠から脱出し (渡部・山崎, 1999) 漁獲サイズ選択性曲線はより右側に位置するので (渡部, 2005a)、本研究で推定した商業籠の網目の漁獲サイズ選択性曲線は、Jeong *et al.* (2000) の結果と比較して妥当と言える。また、Sinoda and Kobayasi (1969) が推定した、本研究で用いた商業籠とほぼ同様の構造の目合150mmのベニズワイガニ籠の50%選択甲幅は89.5mmであった。本研究から推定した商業籠の網目の50%選択甲幅は89.4mmであったので、ほぼ一致している。したがって、本研究で推定した漁獲サイズ選択性曲線は、これらの既報の研究結果 (Jeong *et al.*, 2000; Sinoda and Kobayasi, 1969) と比較して、妥当な漁獲サイズ選択性曲線であると言える。一方、本研究で用いた脱出口は目合150mmの網目よりさらに大きな甲幅の個体を脱出させることができるので (渡部, 2005a)、脱出口の漁獲サイズ選択性曲線は、網目の漁獲サイズ選択性曲線よりさらに右側にあると予想できる。また、脱出口は網目に比べて大きさが均一なため、漁獲サイズ選択性曲線の立ち上がりが急になり選択性スパンも小さくなる (渡部, 2005a) ことも予想できる。しかし、本研究結果では、脱出口の漁獲サイズ選択性曲線は網目の漁獲サイズ選択性曲線より右側にあるものの、選択性スパンは網目より大きかった。また、網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を別々の曲線で扱うべきか、一つの曲線で扱うべきかをAICによって比較したところ、両者のAICには大きな差がなかった。これは、浸漬時間が2日間であったために、脱出口の漁獲サイズ選択性が十分に機能しなかったためと考える。詳細は後述するが、浸漬時間が短い操業において、現用の商業籠に脱出口を用いて規制サイズ (雌と甲幅90mm以下の雄は省令により漁獲が禁止されている) より大きい雄のみを効率的に選択漁獲することは困難と考える。また、本研究では少ない漁獲資料から漁獲選択性曲線を推定したので過分散についても、今後検討すべき課題である (山田・北田, 1997; 北門, 2001)。

本研究では、商業籠と網目ケージならびに脱出口ケージの漁獲から、ポケットケージで覆った部分の網目または脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を推定した。これをどちらか一方に、すなわち商業籠にポケットケージを取り付けるか、または脱出口ケージ以外の部分に



も同じように商業籠に脱出口を付ければ、SELECTモデル (Millar and Walsh, 1992; Millar, 1992) により容易に漁獲サイズ選択性曲線を推定することができる (東海, 1997, 東海・三橋, 1998)。この方法が本来のポケットケージの使い方である。しかし、Op-2とOp-3ではポケットケージで覆った部分だけに脱出口をつけたので、網目の漁獲サイズ選択性曲線を求めることができなかつた。また、Op-4では網目ケージで漁獲された個体数が少なかったため漁獲サイズ選択性曲線を求めることができなかつた (Table1)。そこで、網目ケージと脱出口ケージとポケットケージをつけた商業籠の漁獲資料から、多項分布の尤度を用いたSELECTモデル (西内, 1999, 2003; 渡部, 2005a) を応用して、漁獲サイズ選択性曲線の推定をおこなった。一般に、漁獲サイズ選択性曲線を推定するためには、対照漁具と試験漁具の両方に十分な漁獲が必要になり、そのために使用する漁具の数量や操業回数が増加することが多い (内田ら, 2000)。本研究では、ポケットケージを用いることにより、使用する漁具の数量や操業回数が少なくても漁獲サイズ選択性曲線を推定できる可能性を示した。また、簡便な漁獲サイズ選択性曲線推定法として応用範囲が広いと言える。ただし、ポケットケージを多数取り付けると籠の形状が変化して、漁獲が変化することによって、適正な漁獲サイズ選択性曲線を推定できなくなる可能性がある。この方法を用いる時は、ポケットケージを取り付けることによって、籠の漁獲が変化していないことを確認する必要がある。

漁獲サイズ選択性曲線 (Fig.8) から、雄は内径100mmの脱出口をつけたことによって網目よりサイズの大きい個体の脱出が容易になった。しかし、甲幅95mm以下の個体は現行の商業籠の網目を通過することができる (渡部・山崎, 1999) ので、現行の商業籠に脱出口を用いて選択漁獲する方法では、脱出口の効果が期待できる大きさにすると漁獲サイズ (甲幅90mmより大きい雄) の個体も脱出してしまうので効果的な方法ではない。一方、雌については容易に網目から脱出できることを確認した。また、小型の雄についても網目ケージで漁獲されたので、現用の商業籠 (目合15cm, 網目の掛目数が縦12目, 横40目) の網目を容易に通過できる。浸漬時間37.9時間で行ったポケットケージをつけた商業籠による漁獲試験 (Op-1) では、多数の雌が網目ケージで漁獲された。同様に浸漬時間73.9時間で行った漁獲試験 (Op-3) では、さらに籠本体における雌の漁獲が減少した (Table1)。これらの結果から、雌の多くは籠が海底に設置されてから2日間以内に入籠し、同時に網目から多数の個体が脱出していることが分かる。これは渡部・山崎 (1999)

の研究結果とも一致している。また、本研究においても、雌は浸漬時間の増加とともに籠本体での漁獲が減少した。したがって、現用の商業籠による雌と甲幅90mm以下の雄のベニズワイガニの混獲を少なくするには、脱出口を用いるよりも、渡部・山崎 (1999) で指摘したように浸漬時間を長くする方が有効である。

しかし、現在使われている目合150mmより目合の小さい籠に脱出口を設けるとその効果が機能するので (渡部, 2005a), 最後に脱出口の形状について検討する。体長制限のある生物を対象とした籠漁業では、規制サイズより大きい個体を選択漁獲するために、脱出口の漁獲サイズ選択性について研究が行われてきた (西内, 2003; 渡部, 2005a; Krouse, 1978; Brown, 1982; Treble *et al.*, 1998; Nulk, 1978; 武野, 1996; Stasko, 1975; Fogarty and Borden, 1980)。一般に脱出口の形状としては、円形または長方形が多く (西内, 2003; 渡部, 2005a; Krouse, 1978; Brown, 1982; Treble *et al.*, 1998; Nulk, 1978; 武野, 1996; Stasko, 1975; Fogarty and Borden, 1980), 脱出口のかわりに一定の間隔の隙間を設けた籠などがある (Krouse and Thomas, 1975)。どの方法が適しているかは漁獲対象生物の形態や行動に依存する (Krouse, 1978; Brown, 1982; Nulk, 1978; Stasko, 1975)。特に、甲殻類では甲殻が堅いため、脱出口によって漁獲サイズ選択性が鋭くなることが報告されている (Miller, 1990; Krouse, 1978)。ベニズワイガニの雌の甲高は、抱卵している個体と抱卵していない個体とでは著しく異なり、抱卵している個体は同じ甲幅の雄より長かった (Fig. 9)。甲高が約50mmの場合、甲幅は雌では約85mm, 雄では100mmを超える (Fig. 9)。したがって、長方形の脱出口または隙間では、ベニズワイガニの通過が甲高に依存するため、規制サイズより大きな雄も脱出してしまうので (武野, 1996), 本研究で用いた円形脱出口がベニズワイガニを対象にした籠には適していると考えられる。ベニズワイガニの雄の甲長と甲幅の関係から求めた適切な脱出口の大きさと脱出口をつけた籠の操業法については、渡部 (2005a) が既に報告した。

## 要 約

対照籠を用いずに漁獲サイズ選択性を求めるために、ポケットケージをつけたベニズワイガニ籠による漁獲試験を行った。ポケットケージ (直方体の籠) を商業籠側面の網目または脱出口をつけた網地面を覆うように取り付け、ポケットケージと商業籠本体の漁獲資料から、商業籠の網目と脱出口の漁獲サイズ選択性曲線を推定した。漁獲サイズ選択性曲線は、多項分布

の尤度を用いたSELECTモデルによって求めた。本方法が簡便な漁獲サイズ選択性曲線推定法として利用できることを示した。

### 謝 辞

本研究に御協力頂いた第三開洋丸池松巖船長，浅中正祿調査員はじめ乗組員各位，島根県水産技術センターの関係各位に深く感謝する。調査の運営を担当した水産庁増殖推進部漁場資源課生態系保全室の関係各位にお礼申し上げる。また，調査全般にわたり有益な助言をいただきました元島根県水産技術センター安達二郎博士，ならびに本論をまとめるにあたり多くの助言をいただきました東京海洋大学東海正教授に厚く感謝申し上げます。

### 文 献

- 安達二郎，1988：ベニズワイガニかご網の網目選択性について，日本海ブロック試験研究集録 第12号，日本海区水研究所，新潟，pp 63-100 .
- Brown CG, 1982 : The effect of escape gaps on selectivity in the United Kingdom crab (*Cancer pagurus* L.) and lobster (*Homarus gammarus*(L.)) fisheries, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 40, 127-134 .
- Fogarty MJ, Borden DVD, 1980 : Effects of trap venting on gear selectivity in the inshore Rhode Island American lobster, *Homarus Americanus*, *fishery, Fish. Bull.*, 77, 925-933.
- Hébert M, Miron G, Moriyasu M, Vienneau R, Degrace P, 2001 : Efficiency and ghost fishing of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps in the Gulf of St. Lawrence, *Fish. Res.*, 52, 143-154.
- Jeong EC, Park CD, Park SW, Lee JH, Tokai T, 2000 : Size selectivity of trap for male red queen crab *Chionoecetes Japonicus* with the extended SELECT model, *Fish. Sci.*, 66, 494-501 .
- Krouse JS, 1978 : Effectiveness of escape vent shape in traps for catching legal-sized lobster, *Homarus Americanus*, and harvestable-sized crabs, *Cancer Borealis and Cancer Irroratus* , *Fish. Bull.* , 76 , 425-432 .
- Krouse JS, Thomas JC, 1975 : Effects of trap selectivity and some population parameters on size composition of the American lobster, *Homarus Americanus*, catch along the Maine coast, *Fish. Bull.*, 73, 862-871 .
- Fujimori Y, Tokai T , 2001 : Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood, *Fish. Sci.*, 67, 644-654 .
- Millar RB , 1992 : Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. *J. Am. Stat. Assoc.*, 87, 962-968 .
- Millar RB, Fryer RJ, 1999 : Estimating the size-selection curves of towed gear, traps, nets and hooks, *Rev. Fish. Biol. Fish.*, 9, 89-116 .
- Millar RB, Walsh SJ, 1992 : Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls, *Fish. Res.*, 13, 205-220 .
- Miller RJ, 1990 : Effectiveness of crab and lobster traps . *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1228-1251 .
- 西内修一，1999：ケガニかごの雄ケガニに対する網目選択性．北水試研報，55，131-139 .
- 西内修一，2003：ケガニかごの漁獲選択性に関する研究，北水試研報，64，1-103 .
- Nulk VE, 1978 : The effects of different escape vents on the selectivity of lobster traps . *Marine Fish. Rev.* , 40 , 50-58 .
- 大本茂之，東海正，反田實，西川哲也，松田皎，1998：角目袋網と菱目袋網のAICによる比較，日水誌，64，447-452 .
- 齋浦耕二，東海正，2003：ポケット網実験から推定したカタクチイワシシラスに対する船曳網の網目選択性，日水誌，69，611-619 .
- Sinoda M, Kobayasi T, 1969 : Studies on the fishery of Zuwai Crab in the Japan Sea- . Efficiency of the Toyama Kago(a kind of Crab Trap) in capturing the Beni-zuwai crab, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 35 , 948-956 .
- Stasko AB , 1975 : Modified lobster traps for catching crabs and keeping lobster out, *J. Fish. Res. Board. Can.*, 32, 2515-2520 .
- 武野泰之，1996：脱出機能を有したベニズワイかご，日本海ブロック試験研究集録 第34号，日本海区水研究所，新潟，pp31-35 .
- 東海正，1997：MS-Excelのソルバ - による曳網の網目選択性Logistic式の最尤推定，水産海洋研究，61，288-298 .
- 東海正，三橋廷央，1998：比較操業実験から選択性曲線を求めるSELECTモデルについて．水産海洋研究，62，235-247 .
- Treble RJ, Millar RB , Walker TI , 1998 : Size-selectivity of lobster pots with escape-gaps: application of the SELECT method to the southern

- rock (*Jasus edwardsii*) fishery in Victoria, Australia, *Fish. Res.*, 34, 289-305 .
- 内田圭一, 東海正, 胡夫祥, 松田皎, 1998 : 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*, 64, 815-821 .
- 内田圭一, 東海正, 三橋廷央, 胡夫祥, 松田皎, 2000 : 採集努力量が不定な比較操業実験におけるマアナゴに対するかご網漁獲選択性, *日水誌*, 66, 228-235 .
- 渡部俊広, 2005a : 逸失した状態におけるベニズワイガニ籠のサイズ選択性, *日水誌*, 71, 16-23 .
- 渡部俊広, 2005b : ズワイガニ類資源の保全型漁業生産技術に関する研究, 東京海洋大学学位論文, pp23-55 .
- 渡部俊広, 本多直人, 2005 : ベニズワイガニ籠の餌料として同種を用いた時の漁獲について, *日水誌*, 71, 549-554 .
- 渡部俊広, 山崎慎太郎, 1999 : ベニズワイガニ籠漁業の漁具の浸漬時間と漁獲, *日水誌*, 65, 642-649 .
- Wileman DA, Ferro RST, Fonteyne R, Millar RB, 1996 : Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gear, *ICES Coop. Res. Rep.*, 125, 1-126 .
- Xu X, Millar RB, 1993 : Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 2485-2490 .