

第4章 ケガニかごにおける脱出口の効果

国内における甲殻類を対象としたかご漁業では、小型個体の保護を行う場合、網目規制を行うのが一般的である。しかし、海外における甲殻類を対象としたかご漁業では、規制サイズ未満の個体を逃がし、規制サイズ以上の個体を選択的に漁獲することを目的に、脱出口 (escape vent, escape gapあるいはescape ring) と呼ばれる開口部の取り付けが規則で義務づけられているケースが多数みられる⁵⁻⁸⁾。また、脱出口に関する研究も数多く行われてきており^{1, 2, 4, 5, 42, 54, 71, 80-86)}、それらのほとんどで選択的漁獲に対する脱出口の有効性が確認されている。

一方、日本国内における脱出口に関する研究例は、ケガニかご^{13, 29, 55)}とベニズワイかご^{87, 88)}で少数あるのみで、漁業現場で実用化された例は未だ見当たらないのが現状である。しかし、脱出口は形状や素材の選択などにおいて網目よりも自由度が大きいという特徴がある。北海道では規制サイズである甲長80mm以上の雄だけを選択的に漁獲するため、1994年からケガニかごの目合規制が実施されているが、第3章で述べたようにケガニかごの選択性には改善の余地が残されている。したがって、脱出口による選択的漁獲技術の開発も改善策の1つとして検討に値すると考えられる。

本研究では脱出口付きのケガニかごを開発するため、矩形の脱出口を取り付けたケガニかごを設計し、比較操業実験結果の解析を中心に次の5項目の検討を行った。

- (1) 選択的漁獲における脱出口の有効性
- (2) 規制サイズに対応した適正な脱出口サイズ
- (3) 脱出口の数が選択性に及ぼす影響
- (4) 選択性を決定する体の部位と、ケガニの相対成長に基づく理論的選択性曲線の有効性
- (5) 脱出口の選択作用に関わる諸要因

なお、比較操業実験結果の解析には、第2章で述べたSELECTモデルとマスターカーブ法を用い、相対漁獲効率に関する仮定とBaranovの仮定の妥当性についても検討した。

1. 材料と方法

1.1 予備実験

ケガニかごにおいて脱出口が選択的漁獲に有効かどうかを確かめるため、1987年7月、1988年7月、1989年7月に、北海道網走支庁管内雄武町沖 (Fig. 9) の水深68～83mの海域で、用船した調査船第58喜宝丸 (14.99t, 雄武漁協所属) により予備的な操業実験を延べ11回行った。

実験に用いたケガニかごは、オホーツク海で当業船が

一般に用いている円錐台形型である (Fig. 36)。ケガニかごの主要部分の寸法をFig. 37に示した。上輪の直径は49cm、下輪の直径は91cm、かごの高さは40cmである。かごの上面に直径30cmの入口1個があり、入口には逃避を防ぐために高さ16cmの漏斗が取り付けられている。

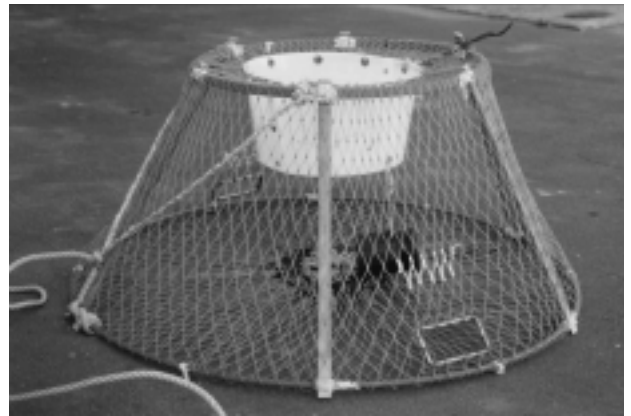


Fig.36 Experimental hair crab pot with rectangular escape-vents.

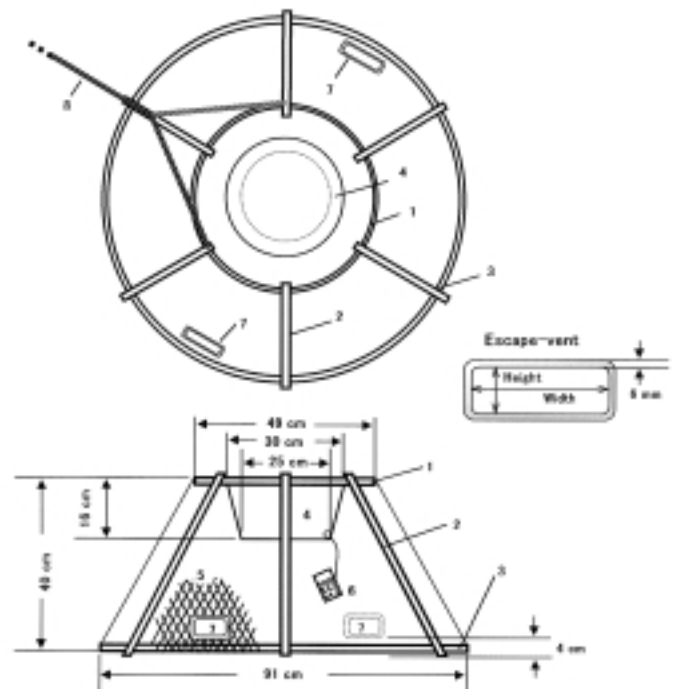


Fig.37 Diagram of the hair crab pot used in the escape-vent selectivity experiments. 1, upper ring of plastic; 2, lateral bars of plastic; 3, lower ring of vinyl-coated steel; 4, polyethylene cylinder entrance; 5, diamond polyethylene mesh; 6, bait can; 7, escape-vent; 8, branch line.

このかごの底輪近くの網地に、直径6mmのステンレス棒を矩形に折り曲げ溶接して製作した脱出口を2個取り付け付けた。脱出口の水平的な取り付け位置は、Fig. 37の上段に示したように枝網の方向に直角な対角線上である。脱出口のサイズは、実験開始前に得られていた雌の甲長・体高の関係及びケガニの規制サイズである甲長80mmを考慮するとともに、ケガニが横歩きで脱出口を通過することを想定して、内側の大きさが「75×48mm」と「85×55mm」の2種類とした。操業実験では、これら脱出口を取り付けた2種類のかごを実験かごとし、脱出口を取り付けない通常のかごを対照かごとして使用した。目合内径はすべてのかごで57mmとした。網地、餌、漁具の構成、操業方法については、第3章の網目選択性試験と同じである。1回の操業実験には、2種類の脱出口付きのかごと対照かごを各10個ずつ使用した。系統的な実験誤差を小さくするため、3種類のかご1かごずつを1ブロックとして10ブロックを配置し、ブロック内のかごの順序は6通りの中から操業回毎に順次選択した。漁獲したケガニは船上において腹部の形状と雌性生殖孔の有無により雌雄を判別し、手で甲を押した感覚と外観から脱皮周期段階を判定し、ノギスにより甲長を1mm単位で測定後、速やかに放流した。

2種類の脱出口の選択性を比較するため、第2章の「2. 目合別及び脱出口サイズ別の選択性曲線の推定」で述べたSELECTモデルを用いて、浸漬日数別に選択性曲線を推定した。選択性曲線にはLogistic曲線を用いた。適合度の評価とモデル選択については、網目選択性の推定の場合と同様に行った。

1.2 ケガニの相対成長

次項の脱出口サイズによる選択性に関する実験に用いる脱出口の大きさの決定と、理論的選択性曲線推定のため、ケガニの相対成長を調べた。測定に供した標本は、1988年から1998年にかけてオホーツク海で採集した雄269個体と雌256個体である。測定項目は、甲長、体長、体高、第3歩脚先端間の長さであるが、測定標本により異なる。また、体高については最大3カ所を測定した。各項目の測定部位の詳細は次のとおりであり、第3歩脚先端間を除きFig. 38に示した。

甲長 (L): 眼と眼の間の額域の2歯の切れ込みから、背甲の後端中央部までの長さ

体長 (BL): 眼と眼の間の額域の2歯の先端から、腹部を含めた体の後端までの長さ

体高1 (BD_1): 体の正中面において甲長の測定軸に対し直角に測った最大体高

体高2 (BD_2): 体の横断面において甲長の測定軸に対し

直角に測った最大体高

体高3R (BD_{3R}): 右の第1歩脚の底節と背甲の小棘群を含む縦断面において、甲長の測定軸に対し直角に測った最大体高

体高3L (BD_{3L}): 左の第1歩脚の底節と背甲の小棘群を含む縦断面において、甲長の測定軸に対し直角に測った最大体高

第3歩脚先端間 (DA): 左右の第3歩脚を伸長させた時の先端間の長さ

甲長、体長及び体高の測定にはデジタルノギスを用い、0.1mm単位で測定した。また、第3歩脚先端間の長さの測定には測定板を用い、1mm単位で測定した。得られた測定データから、各項目の甲長に対する回帰直線を求めた。

1.3 脱出口サイズに関する比較操業実験

脱出口サイズが選択性に与える影響を調べるため、1990年7月及び1991年7～8月に、北海道網走支庁管内雄武町沖(Fig. 9)の水深72～92mの海域で、用船した調査船第58喜宝丸(14.99t、雄武漁協所属)により延べ8回の比較操業実験を行った。実験には、脱出口の大きさが異なる4種類の実験かごと、脱出口を持たない対照かごの計5種類のかごを使用した。脱出口は矩形であり、その内側の大きさ(横幅×高さ)は、後述する相対成長のデータから100×49, 100×51, 100×53, 100×55mmの4種類とした。これらの脱出口は、内側の幅が同じで高さだけが異なるように設計された。脱出口の数は1かごにつき2個とした。脱出口の大きさ以外のかごの仕様は予備実験と同じである(Fig. 37)。目合内径はすべてのかごで57mmとした。1回の実験には、各種類のかごを10かごずつ使用し、系統的な実験誤差を小さくするため、5種類のかご1かごずつを1ブロックとして10ブロックを設け、操業回毎にブロック内のかごの順序を変更した。その他の操業方法、漁獲したケガニの測定方法については、予備実験と同じである。

操業実験結果から、脱出口サイズの選択性を明らかにするため、浸漬日数を1日と2日以上に区分し、脱出口サイズ別の選択性曲線と選択性マスターカーブを推定した。

脱出口サイズ別の選択性曲線の推定には、第2章の「2. 目合別及び脱出口サイズ別の選択性曲線の推定」で述べたSELECTモデルを用い、(2-5)式のLogistic曲線を適用した。適合度の評価とモデル選択については、網目選択性の推定の場合と同様に行った。

一方、選択性マスターカーブの推定には、第2章の「3. SELECTモデルによる選択性マスターカーブの推定」で述べた方法を用いた。マスターカーブの推定では、脱出

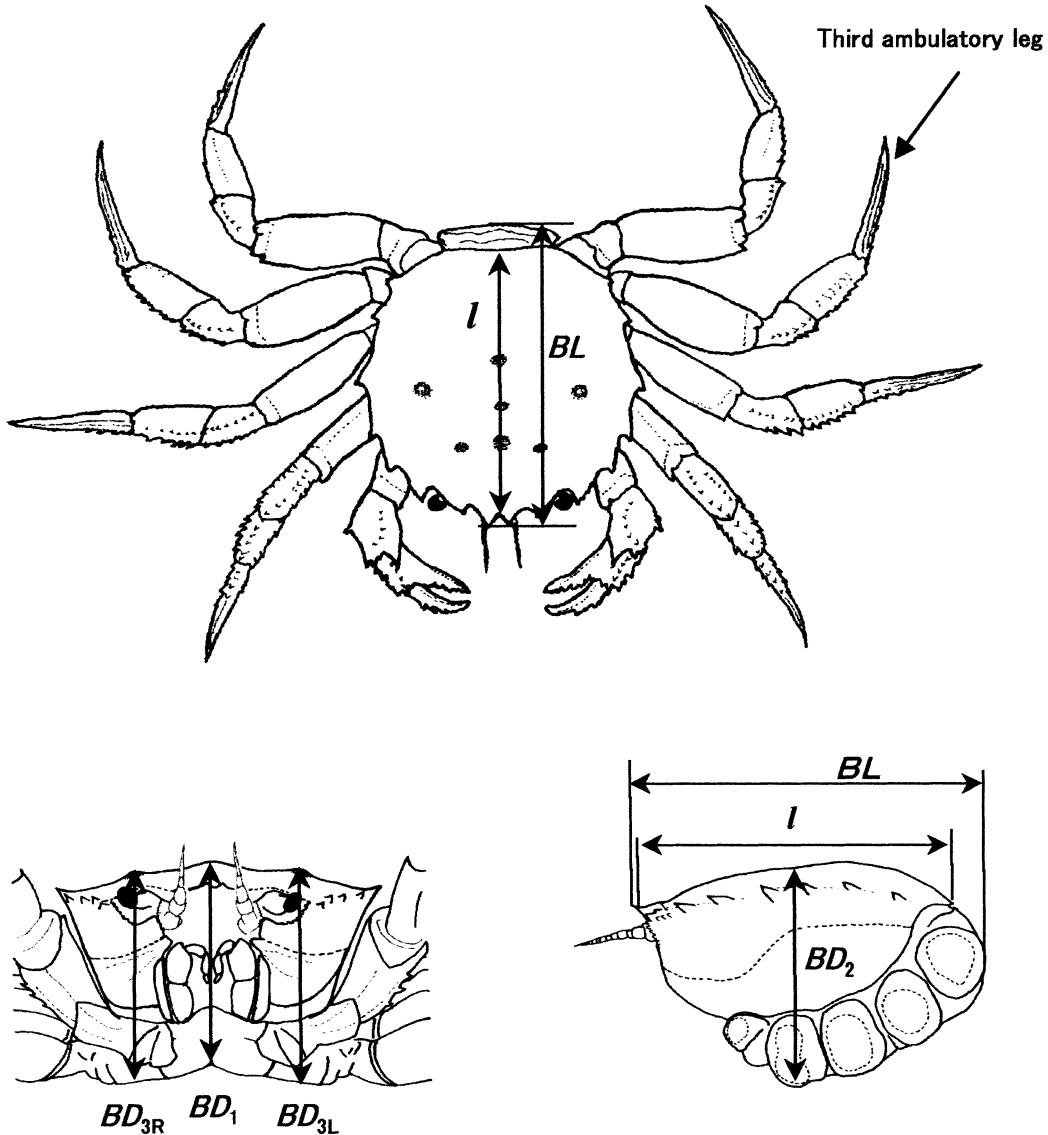


Fig.38 Definitions of carapace dimensions of the hair crab *Erimacrus isenbeckii*. *l*: rostral length, *BL*: body length, *BD*: body depth.

口のサイズとして内側の高さをを用いた。*i* 番目の甲長階級値を l_i , *j* 番目の脱出口の高さを v_j とし, 同じ選択率を示す甲長と脱出口の高さとの関係の比例関係からのずれを補正するパラメータ l_0 と v_0 を用いると, マスターカーブは次式 (4-1) で示される。

$$r(l_i, v_j) = \frac{\exp\{a+b(l_i - l_0)/(v_j - v_0)\}}{1 + \exp\{a+b(l_i - l_0)/(v_j - v_0)\}} \quad (4-1)$$

モデルとして, 各脱出口サイズのかごの相対漁獲効率を等しいと仮定する場合と仮定を設けない場合のそれぞれについて, マスターカーブのパラメータ (l_0 と v_0) の与え方を変えた 8 つのモデルを設定した (Table 17)。パラメータ p_1, p_2, p_3 , はそれぞれ脱出口サイズ 49, 51, 53mm

のかごの相対漁獲強度であり, 脱出口サイズ 55mm のかごの相対漁獲強度 p_4 は (2-38) 式から求まる。本実験では各脱出口サイズの使用かご数が同じなので, 相対漁獲効率は相対漁獲強度に一致する。また, マスターカーブの推定においては, 脱出口を持たない対照かごのデータは用いなかった。したがって, 甲長階級 *i* における *j* 番目の脱出口サイズのかごによる漁獲割合の観測値 n_{ij} は, 次式 (4-2) で計算される。

$$n_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^4 n_{ij}} \quad (4-2)$$

ここで, n_{ij} は *j* 番目の脱出口サイズのかごによる甲長階級 *i* の漁獲尾数である。

Table 17 Models for estimating escape-vent selectivity master curve.

Model	Parameter	Parameter number
1	a, b	2
2	a, b, l_0	3
3	a, b, v_0	3
4	a, b, l_0, v_0	4
5	a, b, p_1, p_2, p_3	5
6	a, b, l_0, p_1, p_2, p_3	6
7	a, b, v_0, p_1, p_2, p_3	6
8	$a, b, l_0, v_0, p_1, p_2, p_3$	7

1.4 脱出口の数に関する比較操業実験

脱出口の数と漁獲選択性の関係を調べるため、1990年7月及び1991年7～8月に、北海道網走支庁管内雄武町沖(Fig. 9)の水深70～93mの海域で、用船した調査船第58喜宝丸(14.99t、雄武漁協所属)により延べ7回の比較操業実験を行った。操業実験には予備実験で甲長80mm以上のケガニの選択的漁獲に効果が認められた「85×55mm」の脱出口を1個取り付けたかごと、2個取り付けたかごと及び脱出口を持たない対照かごの計3種類のかごを用いた。脱出口の数以外のかごの仕様、操業方法、かごの配列方法及び漁獲物の測定方法は、すべて予備実験と同じである。

実験データをもとに、第2章の「2.目合別及び脱出口サイズ別の選択性曲線の推定」で述べたSELECTモデルを用い、脱出口の数が1個のかごと2個のかごの選択性曲線をそれぞれ推定し比較した。ただし、選択性曲線の推定に当たっては、実験結果を浸漬日数1日と2日以上に区分した。選択性曲線には(2-5)式のLogistic曲線を適用した。

次に、脱出口の数が異なる2種類のかごについて、選択性曲線の50%選択甲長と選択性レンジの違いを客観的に評価するため、脱出口の数が1個のかごの選択性曲線のパラメータを a_1, b_1 、脱出口の数が2個のそれを a_2, b_2 として、浸漬日数別に次の4つのモデルをAICにより比較した。

- (1) 制約なし : 異なる選択性曲線
- (2) $a_1 = a_2$: 50%選択甲長の比と選択性レンジの比が同一
- (3) $b_1 = b_2$: 選択性レンジが同一
- (4) $a_1 = a_2, b_1 = b_2$: 同一の選択性曲線(50%選択甲長と選択性レンジが同一)

これらのモデルの当てはめには、第2章の3.で述べた「3

種類以上の漁具を用いた場合のSELECTモデル」を用いた。ただし、選択性曲線には次式(4-3)のLogistic曲線を用いた。

$$r_j(l_i) = \frac{\exp(a_j + b_j l_i)}{1 + \exp(a_j + b_j l_i)} \tag{4-3}$$

ここで、 j は脱出口の数を表す添字であり、 $j=0, 1, 2$ である。対照かごは非選択と仮定して、 $r_0(l_i) = 1$ とした。

1.5 理論的選択性曲線の推定

矩形の脱出口の理論的選択性曲線の推定方法について述べる。かごに入ったケガニが脱出口から抜け出そうとするときには、いわゆる横歩きの状態が想定される。最初、左右いずれかの歩脚が脱出口の外に出て、次に甲殻部分が通過し、最後に反対側の歩脚が通過して脱出が完了すると考えられる。したがって、脱出口の幅が十分に大きい場合、ケガニが脱出口を通過できるかどうかは、脱出口の内側の高さでケガニの縦断面における体高により決定されると考えられる。縦断面における体高は様々考えられるが、本研究では正中面における体高 l (BD_1) の大きさが脱出できるかどうかを決定すると仮定して理論的選択性曲線を推定した。選択性曲線の推定には、刺網の理論的選択性曲線の推定に用いられている方法³⁸⁾を応用した。すなわち、ある甲長 l のケガニの体高 l (BD_1) の分布が正規分布で近似できるとすると、高さが v である脱出口の甲長 l のケガニに対する選択率 $r_v(l)$ は、体高 l が脱出口の高さよりも大きい確率で表せる。すなわち、

$$r_v(l) = 1 - \left(\frac{v - K \cdot BD_1(l)}{BD_1^2 + \frac{v^2}{2}} \right) \tag{4-4}$$

: 標準正規分布の分布関数

K : 体高 l におけるケガニ甲殻の縮み率

$BD_1(l)$: 甲長 l のケガニの体高 l の平均値

BD_1 : 体高 l の標準偏差

v : 脱出口の高さの標準偏差。

体高 l の平均値は、測定データに基づく体高 l の甲長に対する回帰直線から求めた。また、体高 l の標準偏差は甲長 2 mm 間隔毎に求めた体高 l の標準偏差の甲長に対する回帰直線から求めた。なお、脱皮直後の個体を除けば甲殻の縮みは無視できると考えられるので $K=1$ とし、脱出口の高さのパラツキも無視できると考え、 $v=0$ として扱った。以上の方法により、甲長 2 mm 間隔での理論的選択率を計算し、比較操業実験の解析結果と比較した。

2. 結果

2.1 予備実験における脱出口の効果

各回の実験における浸漬日数、操業位置、水深、漁獲尾数を Table 18 に示した。浸漬時間は原則 1 日としたが、気象条件により 11 回の実験のうち 3 回の実験では 2 日となった。本実験で漁獲されたケガニは、雄 1,424 尾、雌 29 尾、計 1,453 尾であった。漁獲されたケガニの甲長範囲は、雄が 43~110mm、雌が 45~74mm であった。これらのケガニの甲長組成をかごの種類別に Fig. 39 に示した。対照かごでは甲長 50~100mm までの幅広いサイズのケガニが漁獲されたが、75×48mm 脱出口付きかごでは、甲長 60mm 未満の漁獲はほとんどなく、甲長 70mm 未満の漁獲も少なかった。また、85×55mm 脱出口付きかごでは、甲長 70mm 未満

の漁獲がほとんどなく、甲長 80mm 未満の漁獲も少なかった。雄の甲長組成のモードは、対照かごで 70.5mm、75×48mm 脱出口付きかごで 72.5mm、85×55mm 脱出口付きかごで 80.5mm であり、脱出口のサイズ間で大きく異なった。かごの種類別の漁獲尾数を規制サイズ以上の雄、規制サイズ未満の雄、雌に区分して比較すると、規制サイズ以上の漁獲尾数に大きな違いはみられなかったが、規制サイズ未満の漁獲尾数は対照かごに比べ脱出口付きかごで明らかに少なく、特に、85×55mm 脱出口付きかごで少なかった (Fig. 40)。漁獲尾数に占める雌と規制サイズ未満の雄の比率は、対照かごでは 90%、75×48mm 脱出口付きかごでは 85% と高かったが、85×55mm 脱出口付きかごでは 40% であった。また、雄の平均甲長は、対照かご、75

Table 18 Details of preliminary experiments for the selectivity of hair crab pots with escape-vents.

Haul number	Date		Soak time (d)	Location		Depth (m)	Vent size (mm)	Number of vents	Number of pots	Number of crabs caught		
	Setting	Hauling		N	E					Legal sized males	Sublegal sized males	Females
1	7/5/87	7/6/87	1	44°45.9'	142°59.9'	80	control	2	10	8	41	4
							75×48			7	11	
							85×55			5	4	
2	7/6/87	7/8/87	2	44°45.9'	142°59.9'	80	control	2	10	6	79	3
							75×48			5	10	
							85×55			4		
3	7/8/87	7/9/87	1	44°45.9'	143°00.0'	80	control	2	10	6	23	4
							75×48			6	5	
							85×55			8	1	
4	7/9/87	7/10/87	1	44°45.5'	143°00.3'	80	control	2	10	6	8	
							75×48			1	10	
							85×55			6	1	
5	7/10/87	7/11/87	1	44°45.5'	143°00.4'	80	control	2	10	5	5	1
							75×48			5	6	
							85×55			5	1	
6	7/11/87	7/13/87	2	44°45.4'	143°00.5'	80	control	2	10	4	3	
							75×48			3	4	
							85×55			4	1	
7	7/13/88	7/14/88	1	44°41.7'	143°05.4'	79	control	2	10	2	24	
							75×48			3	11	
							85×55			2	1	
8	7/14/88	7/15/88	1	44°42.1'	143°06.0'	83	control	2	10	8	81	
							75×48			4	48	1
							85×55			1	7	
9	7/15/88	7/16/88	1	44°42.0'	143°06.0'	83	control	2	10	11	184	3
							75×48			14	138	1
							85×55			11	18	
10	7/16/88	7/18/88	2	44°42.0'	143°06.0'	83	control	2	10	13	249	5
							75×48			15	180	5
							85×55			20	15	
11	7/25/89	7/26/89	1	44°40.4'	143°04.8'	68	control	2	10	15	10	2
							75×48			10	9	
							85×55			11	2	

×48mm脱出口付きかご, 85×55mm脱出口付きかごの順に大きくなり, 雌の平均甲長も対照かごに比べ75×48mm脱出口付きかごで大きかった(Fig. 41)。

次に, 各操業回毎の規制サイズ以上の雄のCPUE(Table 19), 雌と規制サイズ未満の雄のCPUE(Table 20) を用いて, かごの種類により漁獲尾数に差があるかどうかを統計的に検定した。かごの種類と操業日を要因としたフリードマン検定では, 規制サイズ以上の雄のCPUEにはかごの種類による差が認められなかったが(p 値=0.58), 雌+規制サイズ未満の雄のCPUEにはかごの種類による有意な差がみられた(p 値<0.0001)。対照かごと脱出口付きかごによるCPUEの違いをウイルコクソン順位和検定により検定すると, 規制サイズ以上の雄については, 両方の脱出口付きかごとも対照かごとの間に有意な

差はみられなかったが, 雌と規制サイズ未満の雄については, 両方の脱出口付きかごとも対照かごとの間に有意な差がみられた(Table 21)。

上述のかごの種類による漁獲物組成と平均甲長の違い, 雌と規制サイズ未満の雄のCPUEの違いは, 脱出口の選択性を示していると判断された。

次に, SELECTモデルを用いた脱出口付きかごの選択性曲線の推定結果について述べる。雌の漁獲尾数が非常に少なかったため, 雄についての選択性曲線のみを推定した。

浸漬日数1日でのかごの種類別・甲長階級別漁獲尾数をTable 22に, 浸漬日数2日でのそれをTable 23に示した。甲長階級の間隔は2mmとした。これらのデータに Equal split model と Estimated split model を適用した時の選択

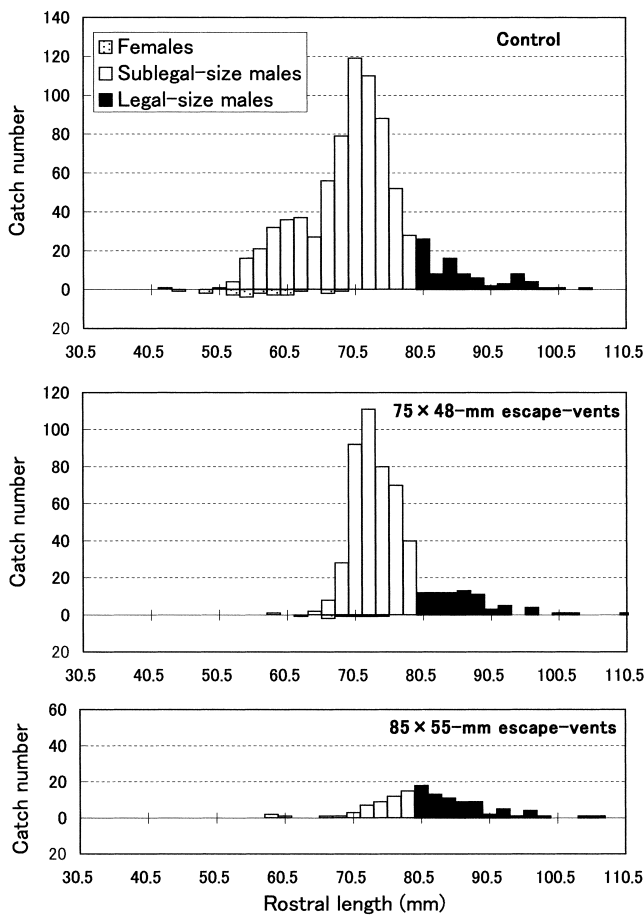


Fig.39 Rostral length frequency distributions of hair crabs caught by control (non-vented), 75×48-mm vented and 85×55-mm vented pots. Stippled, open and solid bars represent females, sublegal-sized males and legal-sized males, respectively.

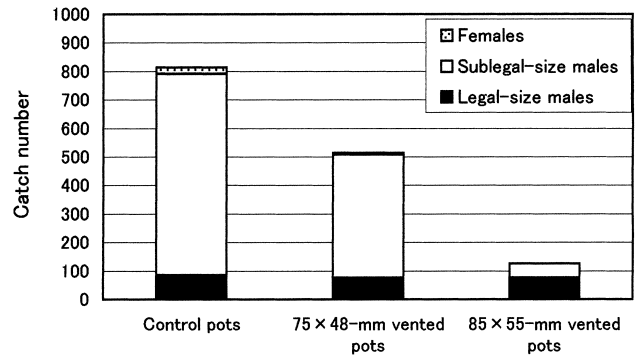


Fig.40 Catch number of hair crabs caught by control (non-vented), 75×48-mm vented and 85×55-mm vented pots.

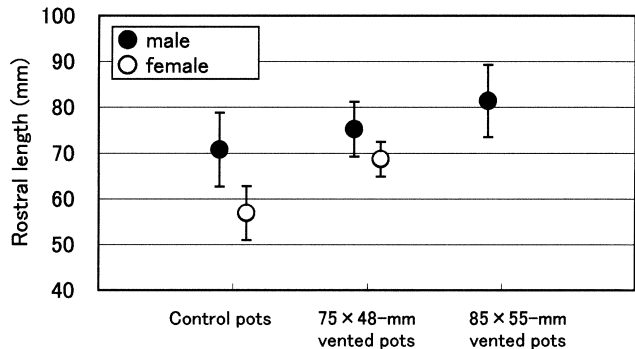


Fig.41 The means (circles) and standard deviations (vertical bars) of the rostral length for hair crabs caught by control (non-vented), 75×48-mm vented and 85×55-mm vented pots.

Table 19 Catch per unit effort(CPUE) by number of legal hair crabs caught by control pots and vented-pots.

Haul number	Pot type		
	control	75 × 48-mm vented	85 × 55-mm vented
1	0.8	0.7	0.5
2	0.6	0.5	0.4
3	0.6	0.6	0.8
4	0.6	0.1	0.6
5	0.5	0.5	0.5
6	0.4	0.3	0.4
7	0.2	0.3	0.2
8	0.8	0.4	0.1
9	1.1	1.4	1.1
10	1.3	1.5	2.0
11	1.5	1.0	1.1
Mean	0.76	0.66	0.70
SE	0.09	0.11	0.13

Table 20 Catch per unit effort(CPUE) by number of sublegal hair crabs caught by control pots and vented-pots.

Haul number	Pot type		
	control	75 × 48-mm vented	85 × 55-mm vented
1	4.5	1.1	0.4
2	8.2	1.0	0.0
3	2.7	0.5	0.1
4	0.8	1.0	0.1
5	0.6	0.6	0.1
6	0.3	0.4	0.1
7	2.4	1.1	0.1
8	8.1	4.9	0.7
9	18.7	13.9	1.8
10	25.4	18.5	1.5
11	1.2	0.9	0.2
Mean	6.63	3.99	0.46
SE	1.94	1.47	0.15

Table 21 Results of the Wilcoxon signed-rank test comparing catch per unit effort (CPUE) of legal and sublegal hair crabs between the control (57-mm mesh) pots and the experimental (75 × 48-mm vented and 85 × 55-mm vented) pots. The significance level of each individual test is 0.0253 for a 5% experimentwise error rate.

Pot type	Legal ¹⁾			Sublegal ²⁾		
	Mean CPUE	T_s ³⁾	Probability	Mean CPUE	T_s ³⁾	Probability
control	0.76			6.63		
75 × 48-mm vented	0.66	13.5	$p > 0.1$	3.99	3	$p = 0.01^*$
85 × 55-mm vented	0.70	7	$p > 0.1$	0.46	1	$p < 0.01^*$

1) Males \geq 80-mm rostral length.2) Males $<$ 80-mm rostral length and females.

3) The sum of ranks that is smaller in absolute value.

* Significant at an experimentwise error rate of 0.05

性曲線のパラメータと相対漁獲強度 p の推定値, 50% 選択甲長 l_{50} と選択性レンジ SR の推定値, 適合度検定と帰無仮説 $p=0.5$ の尤度比検定の結果を Table 24,25 に示した。また, 脱出口付きかごによる甲長階級別の漁獲割合の観測値と SELECT モデルによる当てはめ値及び逸脱度残差を Fig. 42,43 に示した。

75 × 48mm 脱出口付きかごでは, 尤度比検定により浸漬日数に関わらず Equal split model が選択されたが, 浸漬日数 2 日の場合にはモデルの適合がみられなかった (p 値 = 0.042)。浸漬日数が 1 日の場合も 2 日の場合も, 残差が +1.96 以上あるいは -1.96 以下の甲長階級の比率は 5%

をやや上回ったが, 残差に系統的なパターンはみられなかった (Fig. 42)。このため, 浸漬日数 2 日の場合にモデルの適合がみられなかった原因として過分散 (overdispersion) が考えられたことから, 過分散の大きさを推定し, 尤度比検定の統計量と, 選択性曲線のパラメータ及び選択性の指標 (l_{50} , SR) の推定値の標準誤差を補正した (Table 24)。浸漬日数 1 日の場合の 50% 選択甲長は 68.7mm (95% 信頼区間: 67.5 ~ 69.9), 選択性レンジは 4.1mm (95% 信頼区間: 2.3 ~ 5.9mm) と推定された。一方, 浸漬日数 2 日の場合の 50% 選択甲長は 69.5mm (95% 信頼区間: 68.3 ~ 70.7), 選択性レンジは 2.4mm (95% 信頼区間: 0.8 ~ 4.0mm) と推

Table 22 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different size escape-vents and control pots for the 1-day soak.

Rostral length (mm)	Escape-vent size (mm)		
	control	75×48	85×55
42.5	1	0	0
44.5	0	0	0
46.5	0	0	0
48.5	0	0	0
50.5	1	0	0
52.5	3	0	0
54.5	7	0	0
56.5	8	0	0
58.5	9	1	2
60.5	13	0	1
62.5	21	0	0
64.5	15	2	0
66.5	33	7	1
68.5	48	17	0
70.5	59	54	1
72.5	57	59	6
74.5	49	41	6
76.5	33	35	9
78.5	19	22	9
80.5	15	8	11
82.5	8	9	8
84.5	11	9	4
86.5	7	8	7
88.5	3	6	8
90.5	2	2	1
92.5	1	4	3
94.5	7	0	1
96.5	4	3	2
98.5	1	0	0
100.5	1	1	0
102.5	0	1	0
104.5	1	0	1
106.5	0	0	1
108.5	0	0	0
110.5	0	1	0
Total	437	290	82
Total <80	376	238	35
Total ≥80	61	52	47

Table 23 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different size escape-vents and control pots for the 2-day soak.

Rostral length (mm)	Escape-vent size (mm)		
	control	75×48	85×55
42.5	0	0	0
44.5	0	0	0
46.5	0	0	0
48.5	0	0	0
50.5	0	0	0
52.5	1	0	0
54.5	9	0	0
56.5	13	0	0
58.5	23	0	0
60.5	23	0	0
62.5	16	0	0
64.5	12	0	0
66.5	23	1	0
68.5	31	11	1
70.5	60	38	2
72.5	53	52	1
74.5	39	39	3
76.5	19	35	3
78.5	9	18	6
80.5	11	4	7
82.5	0	3	5
84.5	5	3	7
86.5	1	5	2
88.5	3	5	1
90.5	0	1	1
92.5	2	1	2
94.5	1	0	0
96.5	0	1	2
98.5	0	0	1
100.5	0	0	0
102.5	0	0	0
104.5	0	0	0
106.5	0	0	0
108.5	0	0	0
110.5	0	0	0
Total	354	217	44
Total <80	331	194	16
Total ≥80	23	23	28

定された。

85×55mm脱出口付きかごの場合にも、尤度比検定により浸漬日数に関わらずEqual split modelが選択された。浸漬日数が1日の場合も2日の場合も、適合の欠落はみられなかった。ただし、残差を調べると、浸漬日数1日の場合には甲長階級58.5mmに+3以上の大きな残差がみられ、残差が+1.96以上あるいは-1.96以下の甲長階級の比率は10.3%とやや高かった(Fig. 4-8)。浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は80.9mm(95%信頼区間: 78.0~83.8), 選択性レンジは8.7mm(95%信頼区間: 5.6~11.8mm)と推定された。一方、浸漬日数2日の場合の50%選択甲長は79.0mm(95%信頼区間: 76.6~81.3), 選択性レンジは4.6mm(95%信頼区間: 2.4~6.8mm)と推定された。

推定された両脱出口の選択性曲線をFig. 44に示した。浸漬日数に関わらず、85×55mm脱出口付きかごは、75×48mm脱出口付きかごに比べ50%選択甲長が大きく、選択性が良いことが分かった。このことは、上述のように各浸漬日数における両者の50%選択甲長の95%信頼区間が重複しないことから明らかであった。両脱出口とも選択性レンジの推定値は浸漬日数が2日の場合の方が小さかったが、50%選択甲長が浸漬日数により変化するかどうかは明らかでなかった。85×55mm脱出口付きかごは、浸漬日数が1日の場合も2日の場合も、50%選択甲長が規制サイズである甲長80mmに非常に近いことから、規制サイズ以上のケガニを選択的に漁獲するのに有効であると考えられた。

Table 24 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 75 × 48-mm escape vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catches of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

	1-day soak		2-day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-37.0 (7.8)	-36.6	-64.3 (23.3)	-50.5
b	0.539 (0.115)	0.532	0.926 (0.340)	0.718
p	0.5	0.505	0.5	0.560
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	68.7 (0.6)	68.7	69.5 (0.6)	70.4
SR	4.1 (0.9)	4.1	2.4 (0.8)	3.1
H_0 : model fit				
Deviance	17.5	17.6	16.0	13.3
d.f.	12	11	8	7
p -value	0.132	0.092	0.042	0.065
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.037		1.4
d.f.		1		1
p -value		0.848		0.231
c ²⁾				1.90

1) Number of parameters.

2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

Table 25 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 85 × 55-mm escape vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

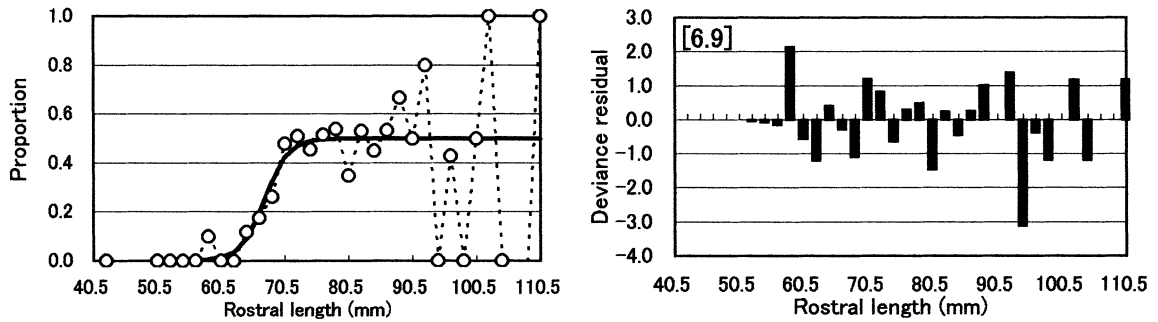
	1-day soak		2-day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-20.4 (4.7)	-20.3	-37.6 (8.2)	-35.5
b	0.253 (0.063)	0.251	0.476 (0.110)	0.439
p	0.5	0.509	0.5	0.629
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	80.9 (2.0)	81.1	79.0 (1.2)	80.8
SR	8.7 (2.2)	8.8	4.6 (1.1)	5.0
H_0 : model fit				
Deviance	16.6	16.7	1.8	1.2
d.f.	10	9	3	2
p -value	0.084	0.054	0.613	0.536
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.009		2.4
d.f.		1		1
p -value		0.924		0.119
c ²⁾		1.85		

1) Number of parameters.

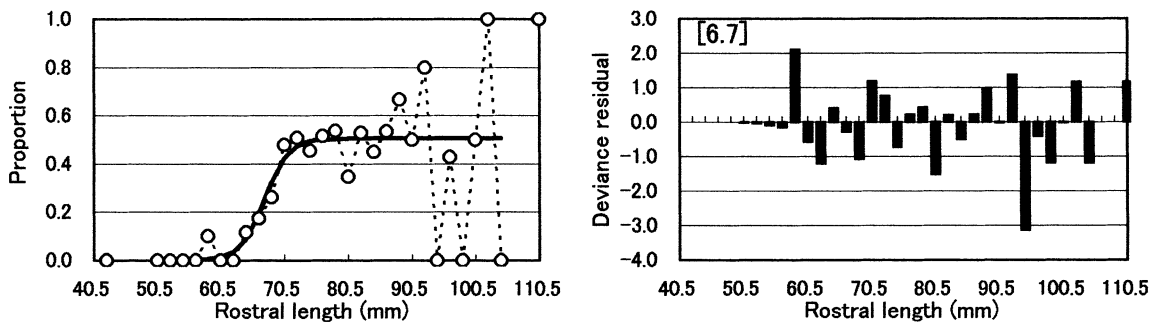
2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

75 × 48-mm escape vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

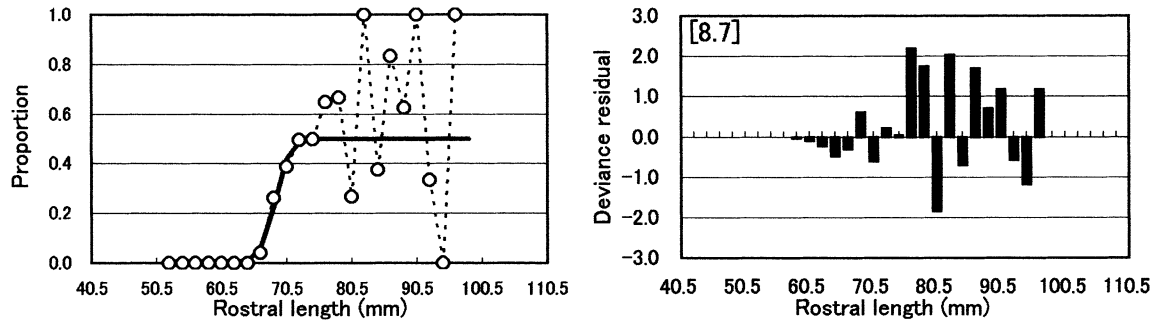


Estimated split model ($\rho = 0.505$)



75 × 48-mm escape vent, 2-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.560$)

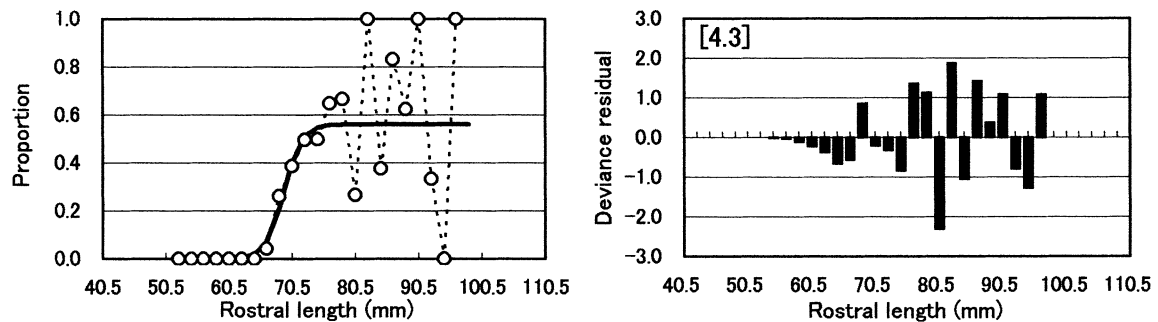
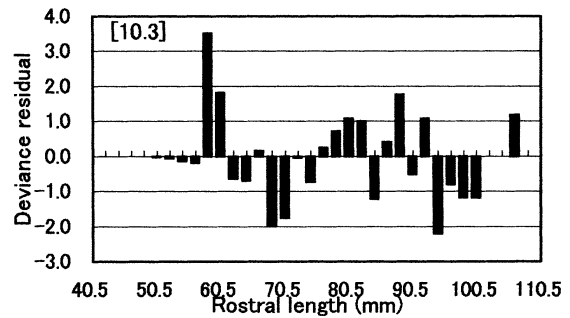
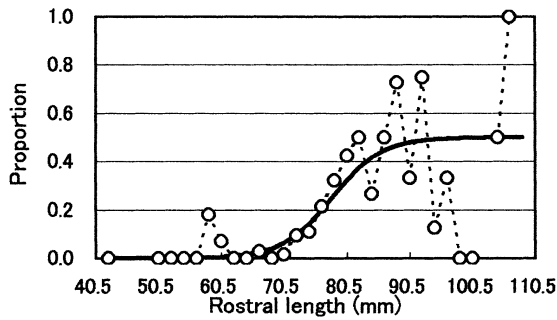


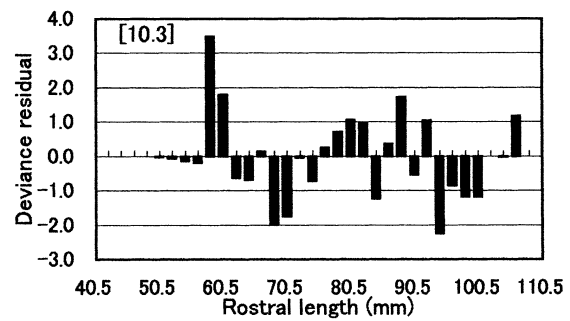
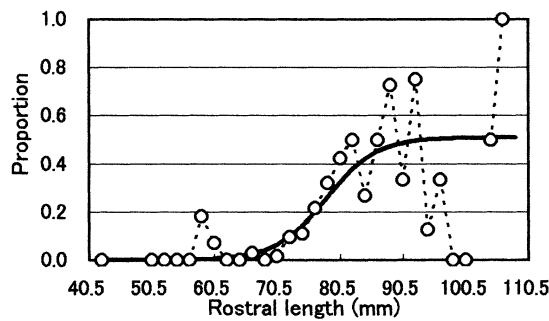
Fig.42 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 75 × 48-mm escape-vents for the 1-day soak and 2-day soak cases and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals ≥ 1.96 in absolute value.

85 × 55-mm escape vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

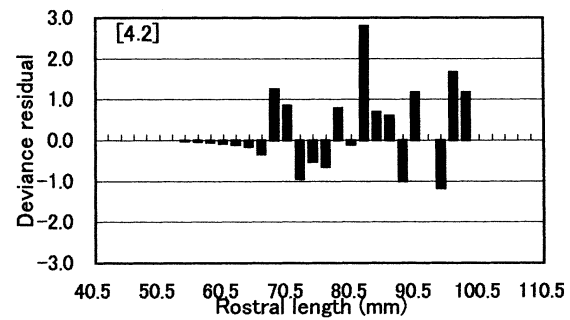
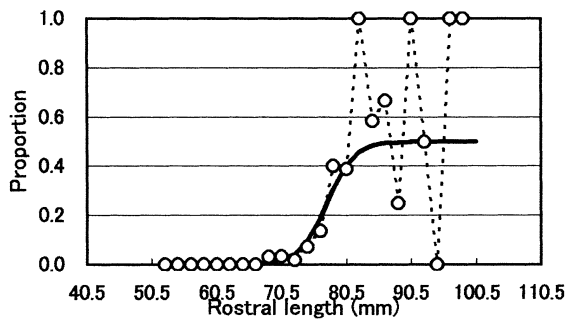


Estimated split model ($\rho = 0.509$)



85 × 55-mm escape vent, 2-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.629$)

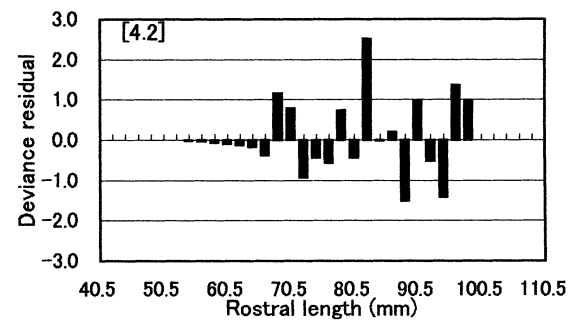
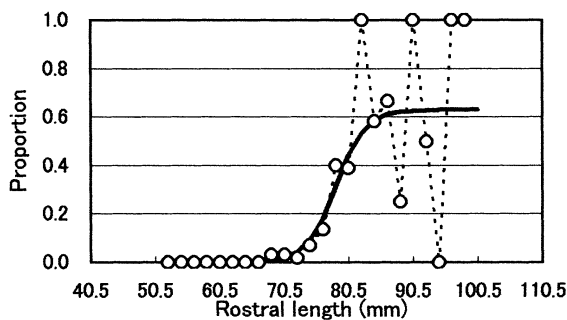


Fig.43 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 85 × 55-mm escape-vents for the 1-day soak and 2-day soak cases and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residual 1.96 in absolute value.

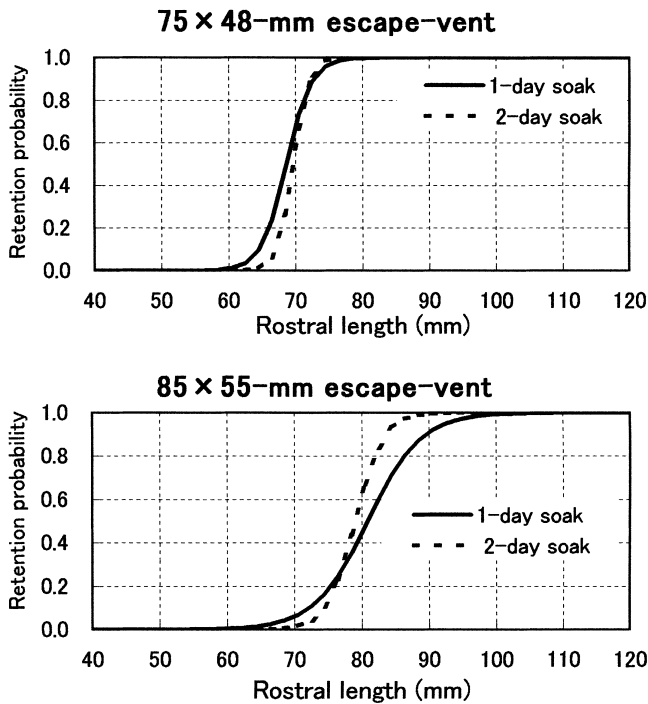


Fig.44 Size-selectivity curves for hair crab pots with different sized (75 × 48-mm, 85 × 55-mm) escape-vents, estimated by the SELECT method for the 1-day soak and 2-day soak cases.

2.2 ケガニの相対成長と脱出口の設計

1988年～1990年にかけて採集した雄178尾と雌163尾の測定結果から、体長(BL)、体高1(BD_1)、体高2(BD_2)、第3歩脚先端間(DA)の各部位の甲長(l)に対する回帰直線を求め、Fig.45に示した。測定した個体の甲長範囲は、雄が17.8～108.7mm、雌が17.8～95.3mmであった。回帰直線の切片が有意でない場合には原点を通る回帰直線を求めた。求めた回帰直線は次のとおりである。括弧内の数字は標本尾数を示す。

(雄)

$$BD_1 = 0.630l \quad (n=178)$$

$$BD_2 = 0.667l \quad (n=75)$$

$$BL = 1.12l \quad (n=178)$$

$$DA = 4.89l - 31.4 \quad (n=114)$$

(雌)

$$BD_1 = 0.654l - 0.952 \quad (n=163)$$

$$BD_2 = 0.679l \quad (n=31)$$

$$BL = 1.16l - 1.29 \quad (n=114)$$

$$DA = 4.35l - 16.2 \quad (n=79)$$

いずれの回帰直線も決定係数 R^2 は大きく、回帰直線はデータを良く表していた(Fig.45)。これらの回帰直線から、雄の規制サイズである甲長80mmの時の各部位の予測値と95%予測区間を推定し(Table 26)、次項の実験で用いる脱出口のサイズを決定した。横幅が十分に大きい矩形の脱出口では、ケガニが脱出口を通過できるか否かは、脱出口の高さとケガニの体高により決定されることが考えられる。しかし、どの部位の体高が選択性に関わっているのかは明らかでない。正中面における体高1と横断面における体高2から、甲長80mmの雄が通過できる大きさと通過できない大きさをおおよそ見積もった。雄の正中面における体高1の予測値は50.4mm、95%予測区間は48.7～52.1mmであった。また、雄の横断面での体高2の予測値は体高1よりも3mm大きく53.4mm、95%予測区間は51.6～55.2mmであった。したがって、物理的には甲長80mmの雄の多くは、脱出口の高さが少なくとも55mmあれば脱出口を通過でき、脱出口の高さが49mm以下だと脱出口を通過できないと予想された。このことから、規制サイズに対応した適切な脱出口の高さは、49mmと55mmの間にあると判断し、脱出口の高さを49、51、53、55mmの4種類に設定した。脱出口の高さでサイズ選択を行おうとする場合、横幅を十分に大きくする必要がある。甲長80mmの雄の体長の予測値は89.4mm、95%予測区間は87.5～91.4mmであったことから、脱出口の横幅を100mmとすれば、甲長80mmの雄が脱出口を通過する時に、横幅が障害になることはないかと判断された。最終的に、次項の脱出口のサイズに関する比較操業実験に用いる脱出口サイズを次の4種類とした。

脱出口1：100 × 49mm

脱出口2：100 × 51mm

脱出口3：100 × 53mm

脱出口4：100 × 55mm

なお、甲長80mmの雌の体高1、体高2、体長の予測値は、いずれも雄のそれらよりも大きく(Table 26)、甲長を基準としたとき、雌は雄に比べ相対的に体高が高く、かつ体長が長いことが明らかになった。また、脱出口の設計では考慮しなかったが、第3歩脚先端間(歩脚を広げた時の最大幅)は、雌で著しく小さかった。以上のように、雄と雌の体型の違いは顕著であった。

2.3 脱出口サイズによる選択性

各回の操業実験における浸漬日数、操業位置、水深、漁獲尾数等をTable 27に示した。浸漬日数は原則1日としたが、気象条件により最大3日となった。本実験で漁獲されたケガニは、雄1,061尾、雌23尾、計1,084尾であった。漁獲されたケガニの甲長範囲は、雄が45～104mm、雌が45～77mmであった。

これらのケガニの甲長組成をかごの種類別にFig.46に示した。脱出口を持たない対照かごでは規制サイズ未満の雄の漁獲が多いほか雌の漁獲もみられ、漁獲物の甲長範囲は広がった。一方、脱出口付きのかごでは規制サイズ未満の漁獲が少なく、脱出口サイズが大きいほどより大きな甲長階級の漁獲尾数が少なかった。また、脱出口付きのかごによる雌の漁獲は、100×55mm脱出口付きかご

の1尾だけであった。

かごの種類別の漁獲尾数を規制サイズ以上の雄、規制サイズ未満の雄、雌に区分して比較すると、規制サイズ以上の漁獲尾数は、100×55mm脱出口付きかごで少なかったが、その他のかごでは違いは明らかでなかった。規制サイズ未満の漁獲尾数は、脱出口サイズが大きいほど少なかった(Fig.47)。

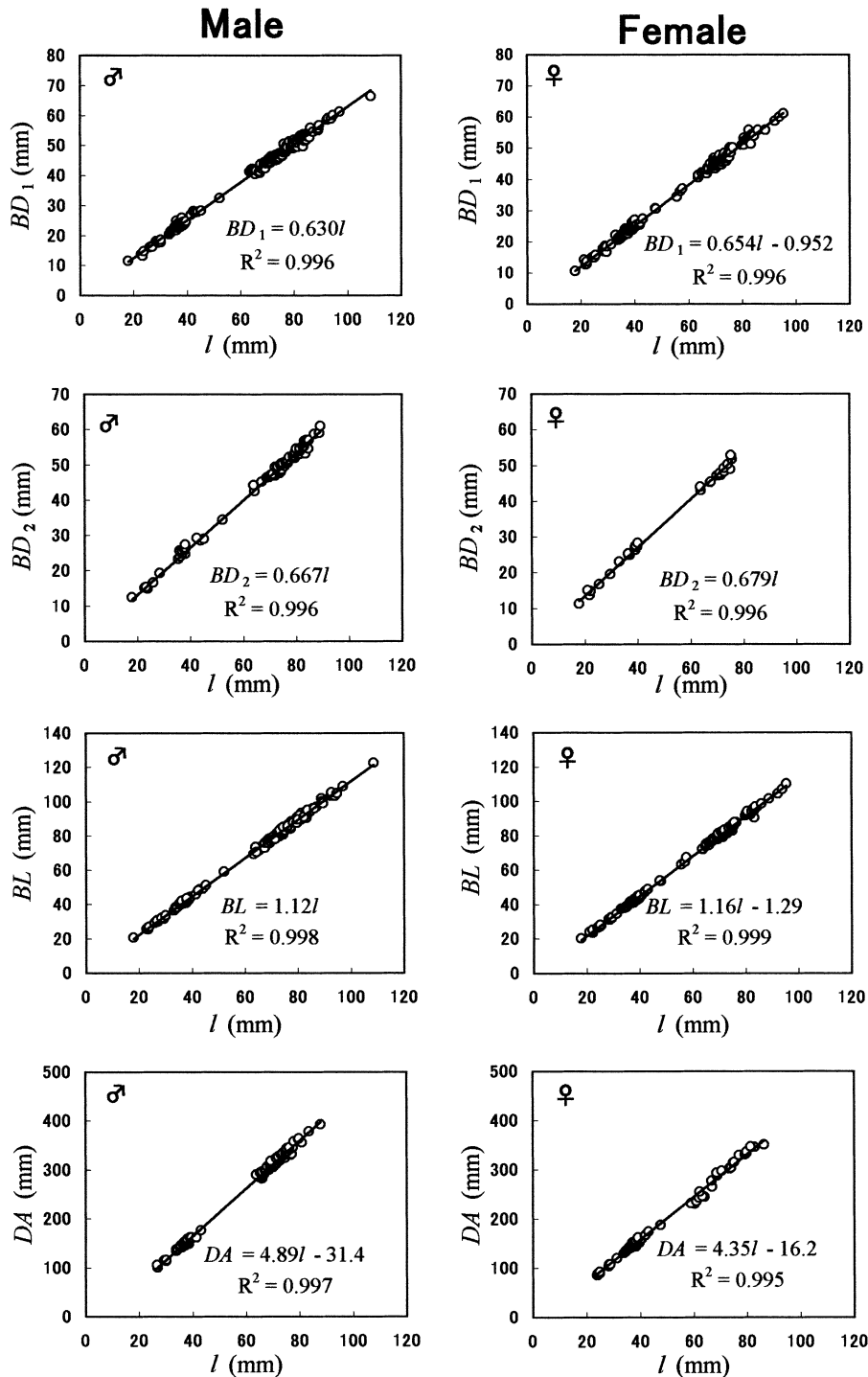


Fig.45 The relationship between rostral length (l) and body depth (BD_1 and BD_2 shown in Fig.38), body length (BL) and the distance between right and left tips of third ambulatory legs stretched (DA) for male and female hair crabs.

Table 26 Estimated mean size (mm) and 95% prediction limits for 80 mm rostral length crab, based on the linear regressions shown in Fig. 45. The abbreviations *BD*, *BL* and *DA* refer to body depth, body length and distance between right and left tips of third ambulatory legs stretched.

	Male			Female		
	Mean size	95% prediction limits		Mean size	95% prediction limits	
		Lower limit	Upper limit		Lower limit	Upper limit
<i>BD</i> ₁	50.4	48.7	52.1	51.4	49.8	53.0
<i>BD</i> ₂	53.4	51.6	55.2	54.3	52.5	56.4
<i>BL</i>	89.4	87.5	91.4	91.4	89.6	93.1
<i>DA</i>	360	351	369	330	319	341

Table 27 Details of escape vent selectivity experiments for hair crab pots with different size of escape vent.

Haul number	Date		Soak time (d)	Location		Depth (m)	Vent size (mm)	Number of vents	Number of pots	Number of crabs caught		
	Setting	Hauling		N	E					Legal size males	Sublegal size males	Females
1	7/14/90	7/15/90	1	44°43.7'	143°02.7'	79	control	2	10	43	50	11
							100×49			34	14	
							100×51			33	5	
							100×53			36		
							100×55			27	1	
2	7/15/90	7/16/90	1	44°43.8'	143°02.7'	79	control	2	10	27	37	1
							100×49			33	16	
							100×51			32	6	
							100×53			35	3	
							100×55			25	2	
3	7/16/90	7/18/90	2	44°43.8'	143°02.7'	79	control	2	10	31	17	
							100×49			31	3	
							100×51			25	1	
							100×53			31		
							100×55			23		
4	7/18/90	7/21/90	3	44°43.9'	143°01.3'	72	control	2	10	21	25	9
							100×49			21	5	
							100×51			16	2	
							100×53			15	2	
							100×55			9	1	
5	7/21/90	7/22/90	1	44°43.9'	143°01.3'	72	control	2	10	11	15	
							100×49			17	5	
							100×51			14	4	
							100×53			11	1	
							100×55			9		
6	7/22/90	7/23/90	1	44°43.9'	143°02.4'	76	control	2	10	9	19	1
							100×49			14	4	
							100×51			15	1	
							100×53			10		
							100×55			3	1	
7	7/26/91	7/29/91	3	44°46.2'	143°02.1'	90	control	2	10	4	31	
							100×49			9	16	
							100×51			14	2	
							100×53			5	1	
							100×55			3		
8	7/29/91	8/1/91	3	44°46'	143°02'	92	control	2	10	6	31	
							100×49			10	6	
							100×51			9	3	
							100×53			4	3	
							100×55			3		

雄の平均甲長は対照かごで最も小さく、脱出口付きかごでは脱出口サイズが大きいほど大きい傾向がみられた (Fig. 48)。雌の平均甲長と脱出口サイズとの関係は、標本数が少なく明らかとならなかった。

次に、各操業回毎の規制サイズ以上の雄のCPUE (Table 28)、雌と規制サイズ未満の雄のCPUE (Table 29) を用いて、かごの種類により漁獲尾数に差があるかどうかを調べた。規制サイズ以上の雄のCPUEの平均は、100 × 55mm 脱出口付きかごで低かったが、その他のかごでは近い値を示した。雌と規制サイズ未満の雄のCPUEの平均は対

照かごで最も高く、脱出口付きかごでは脱出口サイズが大きいほど低い傾向がみられた。これらの結果は、先に述べた漁獲尾数の結果と一致していた。かごの種類と操業日を要因としたフリードマン検定では、規制サイズ以上の雄の場合も、雌と規制サイズ未満の雄の場合も、CPUEにはかごの種類による有意な差がみられた (規制サイズ以上の雄: p 値 < 0.001 雌と規制サイズ未満の雄: p 値 $< 10^{-5}$)。

以上の結果から、脱出口の高さの違いが漁獲選択性の違いを生むと結論付けられた。

2.4 脱出口サイズ別の選択性曲線の推定

脱出口サイズと漁獲選択性の関係を具体的にするため、

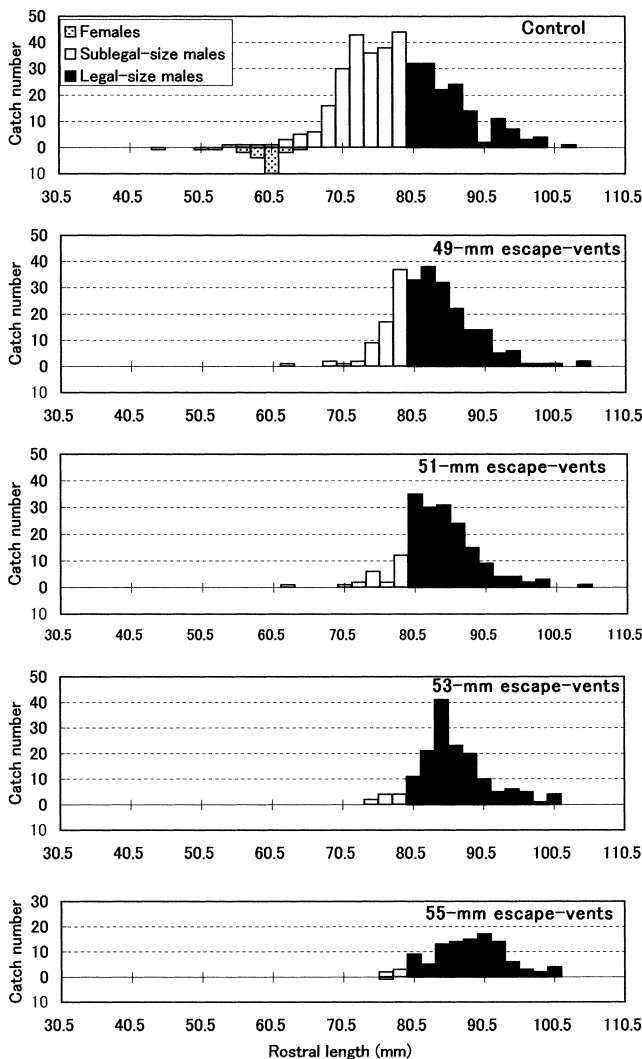


Fig.46 Rostral length frequency distributions of hair crabs caught by pots with different sizes of escape-vents and non-vented control pots. Four different escape-vent sizes were used: 49, 51, 53 and 55-mm. All escape-vents were 100-mm wide. Stippled, open and solid bars represent females, sublegal-sized males and legal-sized males, respectively.

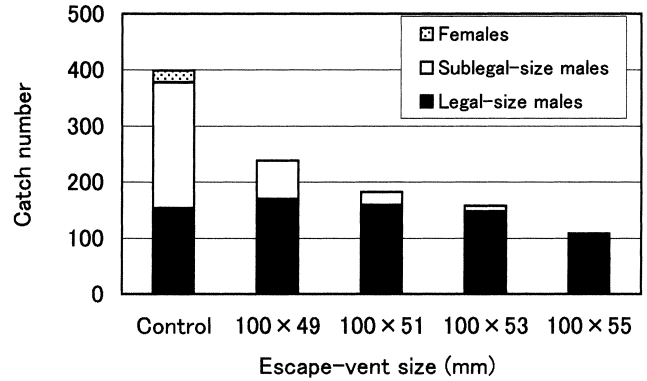


Fig.47 Catch numbers of hair crabs caught by control (non-vented) pots and pots with different size of escape-vents.

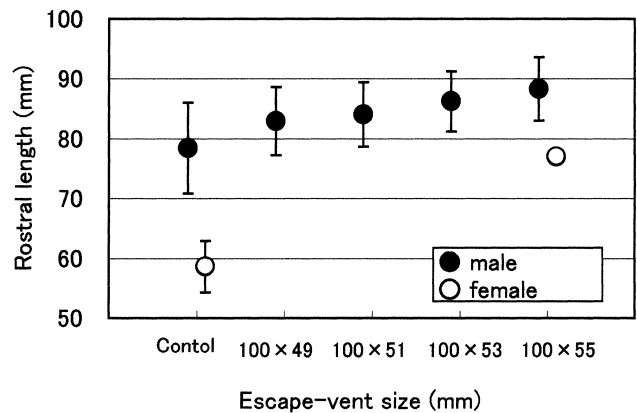


Fig.48 The means (circles) and standard deviations (vertical bars) of the rostral length for hair crabs caught by control (non-vented) pots and pots with different size of escape-vents.

SELECTモデルを用いて脱出口サイズ別の選択性曲線を推定した。ただし、雌の漁獲尾数が非常に少なかったため、雄についての選択性曲線のみを推定した。また、浸漬日数を便宜的に1日と2日以上に区分した。

浸漬日数1日の実験によるかごの種類別・甲長階級別漁獲尾数をTable 30に、浸漬日数2日以上のをTable 31に示した。甲長階級の間隔は2mmとした。これらのデータにEqual split modelとEstimated split modelを適用した時の選択性曲線のパラメータと相対漁獲強度 p の推定

値、50%選択甲長 l_{50} と選択性レンジ SR の推定値、適合度検定と帰無仮説 $p=0.5$ の尤度比検定の結果をTable 32~36に示した。また、脱出口付きかごによる甲長階級別の漁獲割合の観測値とSELECTモデルによる当てはめ値及び逸脱度残差をFig. 49~53に示した。なお、過分散が考えられる場合には、Estimated split model の逸脱度 (model deviance) の自由度に対する比で過分散の大きさを推定し、尤度比検定の統計量と推定したパラメータ等の標準誤差を補正して表中に示した。

Table 28 Catch per unit effort(CPUE) by number of legal hair crabs caught by control pots and pots with different size of escape-vent.

Haul number	Escape-vent size (mm)				
	control	100 × 49	100 × 51	100 × 53	100 × 55
1	4.3	3.4	3.3	3.6	2.7
2	2.7	3.3	3.2	3.5	2.5
3	3.1	3.1	2.5	3.1	2.3
4	2.1	2.1	1.6	1.5	0.9
5	1.1	1.7	1.4	1.1	0.9
6	0.9	1.4	1.5	1.0	0.3
7	0.4	0.9	1.4	0.5	0.3
8	0.6	1.0	0.9	0.4	0.3
Mean	1.90	2.11	1.98	1.84	1.28
SE	0.33	0.24	0.21	0.32	0.25

Table 30 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different size escape-vents and control pots for the 1-day soak.

Rostral length (mm)	Escape-vent size (mm)				
	control	100*49	100*51	100*53	100*55
52.5	0	0	0	0	0
54.5	1	0	0	0	0
56.5	1	0	0	0	0
58.5	1	0	0	0	0
60.5	1	0	0	0	0
62.5	3	1	0	0	0
64.5	2	0	0	0	0
66.5	3	0	0	0	0
68.5	9	2	0	0	0
70.5	20	1	1	0	0
72.5	32	1	2	0	0
74.5	16	6	5	1	0
76.5	14	9	1	2	2
78.5	18	19	7	1	2
80.5	14	15	19	9	6
82.5	20	23	15	16	4
84.5	12	19	13	30	10
86.5	19	14	17	13	9
88.5	6	9	14	8	7
90.5	1	9	8	6	9
92.5	8	1	3	1	7
94.5	3	3	2	4	4
96.5	3	1	1	2	2
98.5	3	1	2	1	2
100.5	0	1	0	2	4
102.5	1	0	0	0	0
104.5	0	2	0	0	0
Total	211	137	110	96	68
Total <80	121	39	16	4	4
Total ≥80	90	98	94	92	64

Table 29 Catch per unit effort(CPUE) by number of sublegal hair crabs caught by control pots and pots with different size of escape-vent.

Haul number	Escape-vent size (mm)				
	control	100 × 49	100 × 51	100 × 53	100 × 55
1	6.1	1.4	0.5	0.0	0.1
2	3.8	1.6	0.6	0.3	0.2
3	1.7	0.3	0.1	0.0	0.0
4	3.4	0.5	0.2	0.2	0.2
5	1.5	0.5	0.4	0.1	0.0
6	2.0	0.4	0.1	0.0	0.1
7	3.1	1.6	0.2	0.1	0.0
8	3.1	0.6	0.3	0.3	0.0
Mean	3.09	0.86	0.30	0.13	0.08
SE	0.35	0.13	0.04	0.03	0.02

Table 31 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different size escape-vents and control pots for the 2-day soak.

Rostral length (mm)	Escape-vent size (mm)				
	control	100*49	100*51	100*53	100*55
52.5	0	0	0	0	0
54.5	0	0	0	0	0
56.5	0	0	0	0	0
58.5	0	0	0	0	0
60.5	0	0	0	0	0
62.5	0	0	1	0	0
64.5	3	0	0	0	0
66.5	3	0	0	0	0
68.5	7	0	0	0	0
70.5	10	0	0	0	0
72.5	11	1	0	0	0
74.5	20	3	1	1	0
76.5	24	8	1	2	0
78.5	26	18	5	3	1
80.5	18	18	16	2	3
82.5	12	15	15	5	1
84.5	10	13	18	11	3
86.5	5	8	7	10	5
88.5	8	5	1	12	8
90.5	1	5	1	4	8
92.5	3	4	1	4	7
94.5	4	3	2	2	2
96.5	0	0	1	3	1
98.5	1	0	1	0	0
100.5	0	0	0	2	0
102.5	0	0	0	0	0
104.5	0	0	1	0	0
Total	166	101	72	61	39
Total <80	104	30	8	6	1
Total ≥80	62	71	64	55	38

100×49mm脱出口付きかごでは、浸漬日数が1日の場合も2日以上の場合も、尤度比検定によりEqual split modelが選択された(Table 32)。浸漬日数2日以上の場合、適合度検定の点からも残差の点からも良い適合がみられたが、浸漬日数1日の場合には、適合の欠落がみられた(p 値=0.005)。浸漬日数1日での漁獲割合の観測値は、甲長階級90.5mm以上と70.5mm未満でバラツキが大きく、残差の絶対値が1.96以上の階級の比率が15.4%と高かったが、推定値の当てはまりは全体として悪くなく、残差に明らかな傾向は見受けられなかった(Fig. 49)。このため、適合の欠落の原因の一つとして過分散が考えられた。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は76.1mm(標準誤差1.9mm)、選択性レンジは5.6mm(標準誤差2.6mm)と推定された。一方、浸漬日数2日以上の場合の50%選択甲長は77.2mm(標準誤差0.8mm)、選択性レンジは3.4mm(標準誤差1.1mm)と推定された。

100×51mm脱出口付きかごにおいても、尤度比検定により浸漬日数に関わらずEqual split modelが選択された(Table 33)。しかし、浸漬日数が1日の場合も2日以上の場合も、モデルの適合はみられなかった(p 値=0.008)。浸漬日数1日での漁獲割合の観測値は、甲長階級90.5mm以上でややバラツキが大きい、推定値の当てはまりは全体として悪くなく、残差にも明らかな傾向は見受けられ

なかった(Fig. 50)。このため、適合のみられなかった原因の一つとして、過分散が考えられた。浸漬日数2日以上の場合、漁獲割合の観測値は甲長階級88.5mm以上でバラツキが大きく、同時に甲長階級62.5mmで飛び離れていた。残差を調べると、甲長階級62.5mmで+の大きな残差がみられたほか、甲長階級64.5~78.5mmの残差が-に偏っていた。この残差の傾向は、甲長階級62.5mmのデータ(漁獲尾数1尾)によるところが大きいと考えられるため、この階級のデータを削除してモデルの当てはめをやり直した(Table 34, Fig. 51)。その結果、Equal split modelが選択され、適合度は改善されたが、依然として適合はみられなかった(p 値=0.045)。甲長階級88.5mmに-の大きな残差がみられたが、残差の傾向は解消されたことから(Fig. 51)適合の欠落の原因の一つは過分散であると考えられた。残差に傾向がみられなくなったことから、浸漬日数2日以上の場合、甲長階級62.5mmのデータが解析に悪影響を及ぼしたと判断し、最終的にこのデータを削除したデータに当てはめたEqual split model(Table 34)を選択した。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は78.1mm(標準誤差1.9mm)、選択性レンジは4.9mm(標準誤差2.1mm)と推定された。一方、浸漬日数2日以上の場合の50%選択甲長は79.6mm(標準誤差1.1mm)、選択性レンジは2.5mm(標準誤差1.3mm)と推定された。

Table 32 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 100×49-mm escape-vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

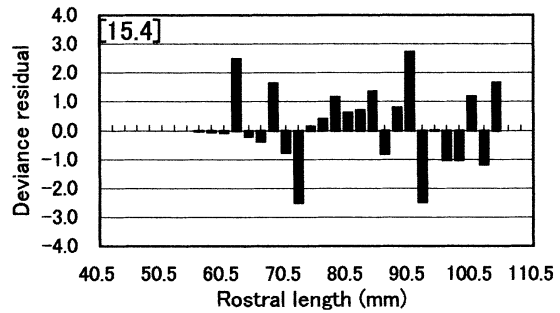
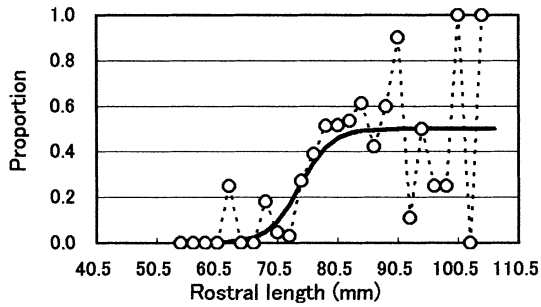
	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-29.7 (13.5)	-27.7	-49.7 (15.3)	-44.3
b	0.391 (0.183)	0.359	0.643 (0.202)	0.567
p	0.5	0.551	0.5	0.553
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	76.1 (1.9)	77.2	77.2 (0.8)	78.1
SR	5.6 (2.6)	6.1	3.4 (1.1)	3.9
H_0 : model fit				
Deviance	25.4	23.9	5.706	4.397
d.f.	10	9	9	8
p -value	0.005	0.005	0.769	0.820
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.6		1.1
d.f.		1		1
p -value		0.436		0.299
c ²⁾		2.65		

1) Number of parameters.

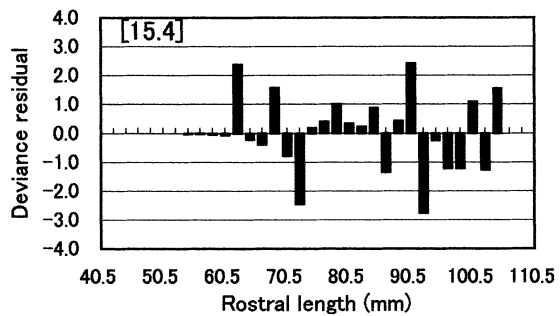
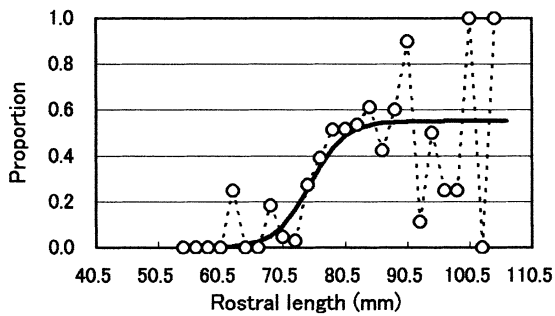
2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

100 × 49-mm escape-vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

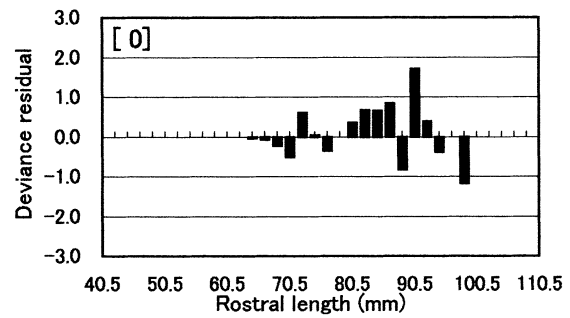
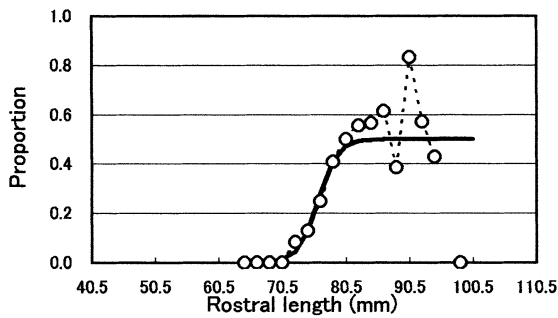


Estimated split model ($\rho = 0.551$)



100 × 49-mm escape-vent, ≥ 2-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.553$)

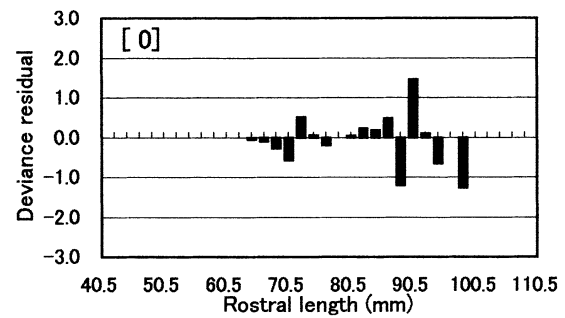
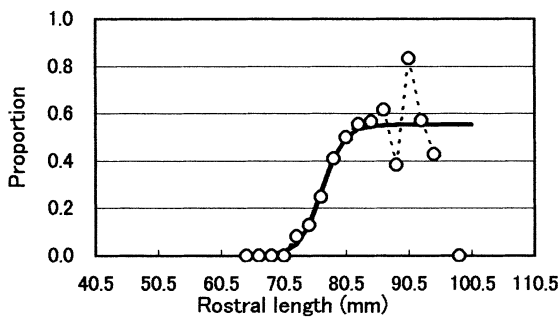


Fig.49 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 100 × 49-mm escape-vent for the 1-day soak and ≥ 2-day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals > 1.96 in absolute value.

100×53mm脱出口付きかごでは、尤度比検定により浸漬日数1日の場合にはEqual split modelが、浸漬日数2日以上の場合にはEstimated split modelがそれぞれ選択された(Table 35)。浸漬日数2日以上の場合、適合度検定の結果(p 値 = 0.463)からも残差の点からもモデルの適合がみられた。一方、浸漬日数1日の場合には適合度検定によるモデルの適合がみられず(p 値 = 0.001)、漁獲割合の観測値のバラツキが甲長階級84.5mm以上で大きく、絶対値の大きな残差が目立った(Fig 52)。しかし、残差に傾向的なパターンがみられなかったことから、適合のみられなかった原因の一つは過分散と考えられた。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は80.2mm(標準誤差1.6mm)、選択性レンジは3.2mm(標準誤差1.7mm)と推定された。一方、浸漬日数2日以上の場合の50%選択甲長は85.1mm(標準誤差2.3mm)、選択性レンジは5.2mm(標準誤差1.3mm)と推定された。また、浸漬日数2日以上の場合の脱出口付きかごによる相対漁獲強度 p は0.668(標準誤差:0.088)と推定された。

100×55mm脱出口付きかごでは、尤度比検定により浸漬日数が1日の場合にはEqual split modelが選択されたが

(Table 36)、適合度検定の結果ではモデルの適合はみられなかった(p 値 = 0.033)。しかし、漁獲割合の推定値は観測値に比較的よく当てはまっていた(Fig 53)。また、残差に傾向がみられないことから、適合がみられない原因の一つは過分散と考えられた。一方、浸漬日数2日以上の場合にも、尤度比検定の結果ではEstimated split modelによりモデルの適合は改善されないが、 p 値は0.1でありあまり大きくない。また、適合度検定の結果、Estimated split modelに適合の欠落はみられなかったが、Equal split modelには適合の欠落がみられた。さらに、AICの値を計算するとEstimated split modelの方が0.7小さかった。これらのことから、浸漬日数2日以上については、Estimated split modelの方が適切であると判断した。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は83.3mm(標準誤差1.9mm)、選択性レンジは5.4mm(標準誤差2.1mm)と推定された。一方、浸漬日数2日以上の場合の50%選択甲長は87.0mm(標準誤差2.4mm)、選択性レンジは4.6mm(標準誤差1.3mm)と推定された。また、浸漬日数2日以上の場合の脱出口付きかごによる相対漁獲強度 p は0.650(標準誤差0.105)と推定された。

Table 33 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 100×51-mm escape-vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

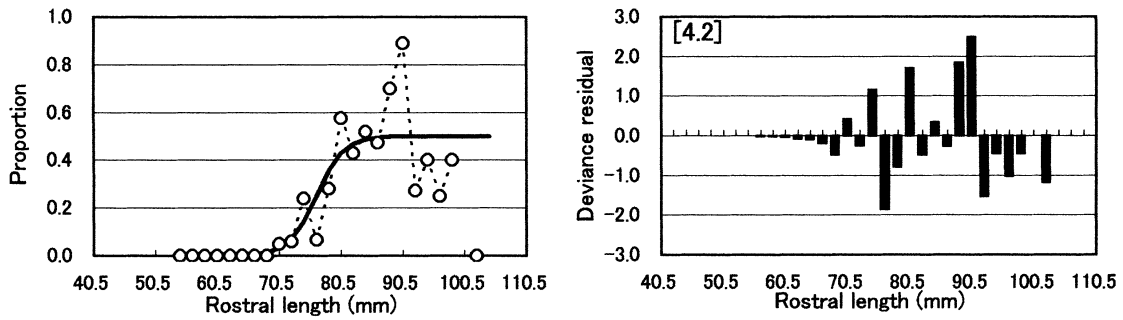
	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-35.3 (14.8)	-33.4	-39.7 (19.6)	-38.5
b	0.452 (0.197)	0.425	0.495 (0.252)	0.476
p	0.5	0.528	0.5	0.560
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	78.1 (1.9)	78.7	80.1 (1.7)	80.9
SR	4.9 (2.1)	5.2	4.4 (2.3)	4.6
H_0 : model fit				
Deviance	20.6	19.7	17.3	16.5
d.f.	8	7	6	5
p -value	0.008	0.006	0.008	0.006
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.1		0.3
d.f.		1		1
p -value		0.719		0.569
c ²⁾		2.81		3.29

1) Number of parameters.

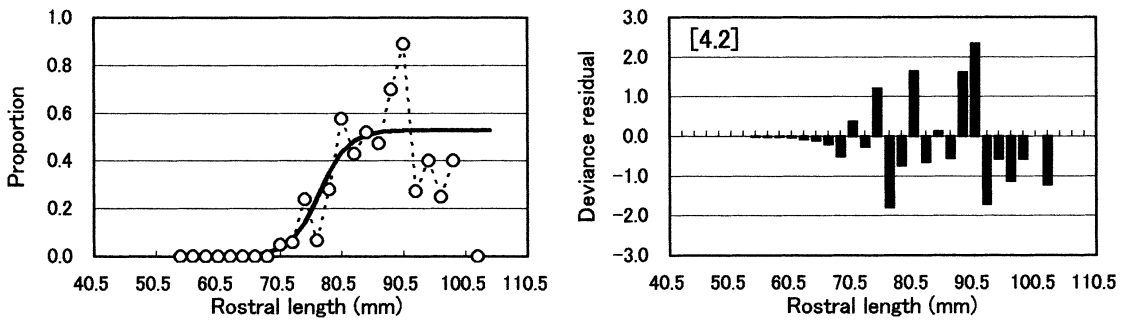
2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

100 × 51-mm escape-vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

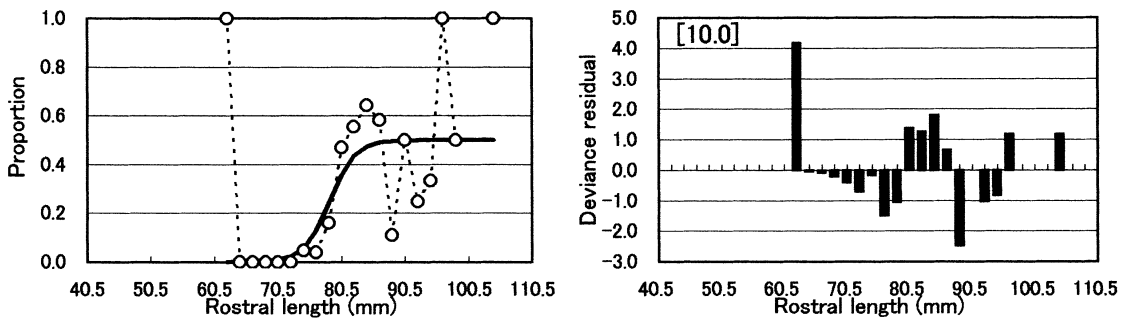


Estimated split model ($\rho = 0.528$)



100 × 51-mm escape-vent, ≥ 2 -day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.560$)

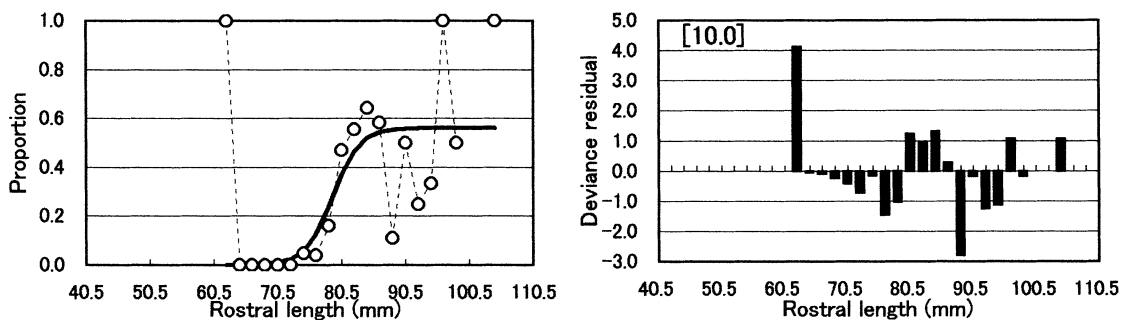


Fig.50 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 100 × 51-mm escape-vents for the 1-day soak and 2-day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals ≥ 1.96 in absolute value.

Table 34 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve to the reduced data set for 100 × 51-mm escape-vents in the case of 2-day soak. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p=0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

	≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model
a	-70.9 (33.8)	-68.5
b	0.890 (0.471)	0.857
p	0.5	0.537
np ¹⁾	2	3
l_{50}	79.6 (1.1)	79.9
SR	2.5 (1.3)	2.6
H_0 : model fit		
Deviance	11.3	10.9
d.f.	5	4
p -value	0.045	0.028
H_0 : $p=0.5$		
Deviance		0.2
d.f.		1
p -value		0.671
c ²⁾		2.71

1) Number of parameters.

2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

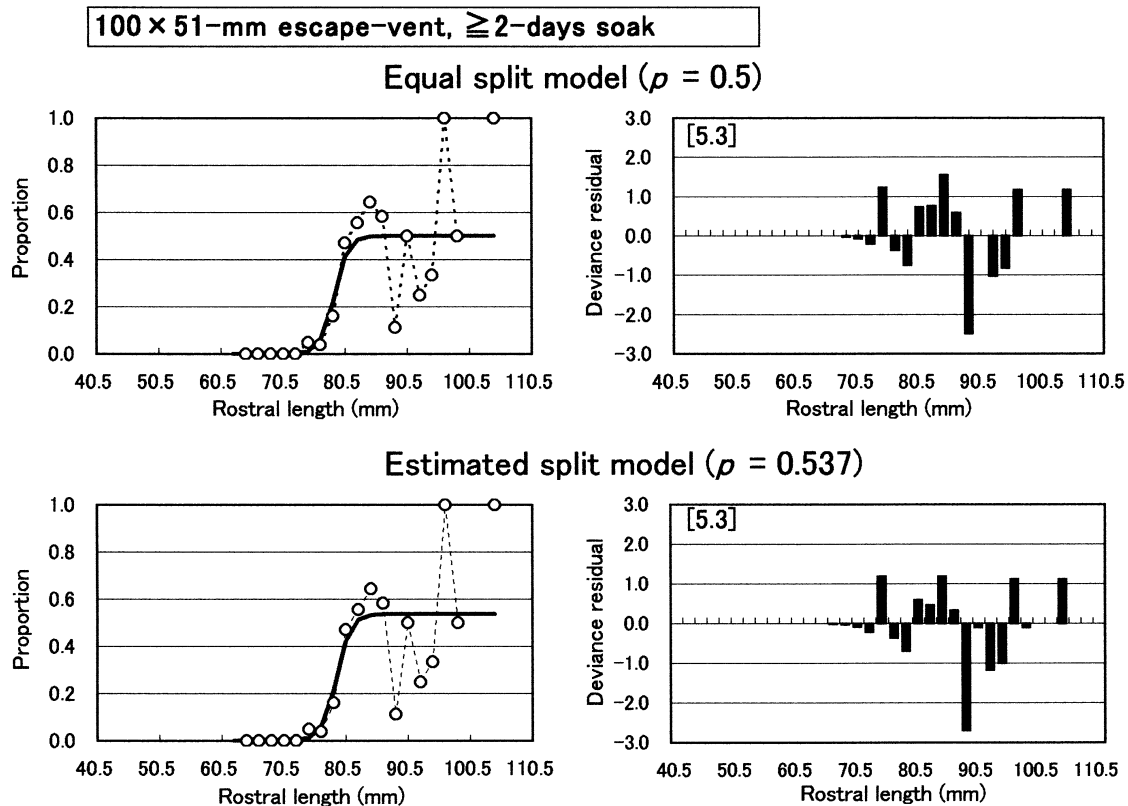


Fig.51 Plots of the proportion of the total catch for each lengths class taken by pots with two 100 × 51-mm escape vents for the 2-day soak and the deviance residuals from fits. The analysis was performed with the length classes below 64.5-mm removed. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals ≥ 1.96 in absolute value.

Table 35 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 100 × 53-mm escape-vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p=0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-55.0 (28.2)	-52.5	-40.6	-35.9 (8.4)
b	0.685 (0.360)	0.650	0.492	0.422 (0.4)
p	0.5	0.542	0.5	0.668 (0.088)
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	80.2 (1.6)	80.7	82.5	85.1 (2.3)
SR	3.2 (1.7)	3.4	4.5	5.2 (1.3)
H_0 : model fit				
Deviance	23.9	22.5	7.2	2.6
d.f.	7	6	6	3
p -value	0.001	0.001	0.305	0.463
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.2		5.2
d.f.		1		1
p -value		0.628		0.022
c ²⁾		3.75		

1) Number of parameters.

2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

Table 36 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 100 × 55-mm escape-vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p=0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

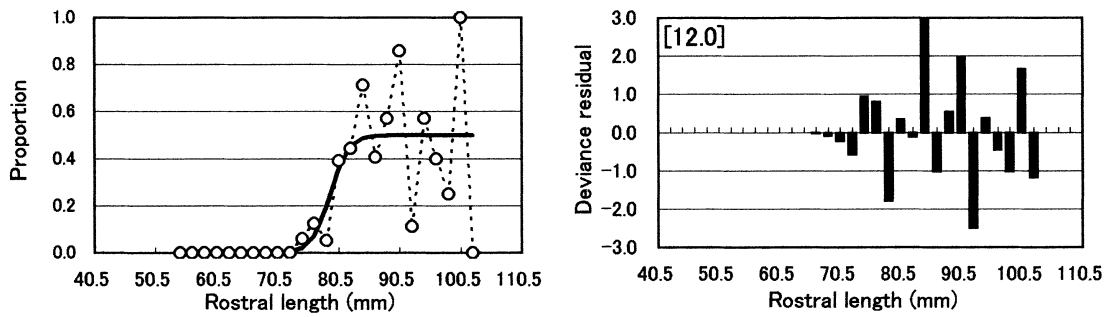
	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-34.2 (12.8)	-30.6	-47.3	-42.0 (11.1)
b	0.411 (0.160)	0.360	0.558	0.482 (0.139)
p	0.5	0.568	0.5	0.650 (0.105)
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	83.3 (1.9)	85.0	84.8	87.0 (2.4)
SR	5.4 (2.1)	6.1	3.9	4.6 (1.3)
H_0 : model fit				
Deviance	13.7	12.7	9.6	4.3
d.f.	6	5	4	2
p -value	0.033	0.026	0.047	0.116
H_0 : $p=0.5$				
Deviance		0.3		2.7
d.f.		1		1
p -value		0.588		0.100
c ²⁾		2.54		

1) Number of parameters.

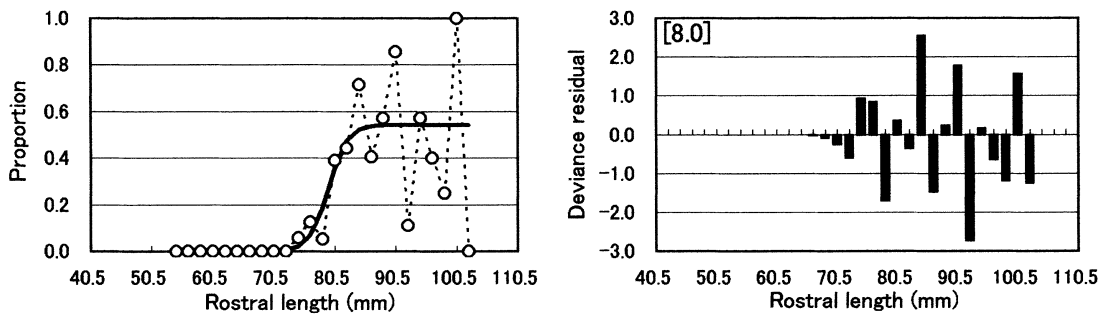
2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

100 × 53-mm escape-vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

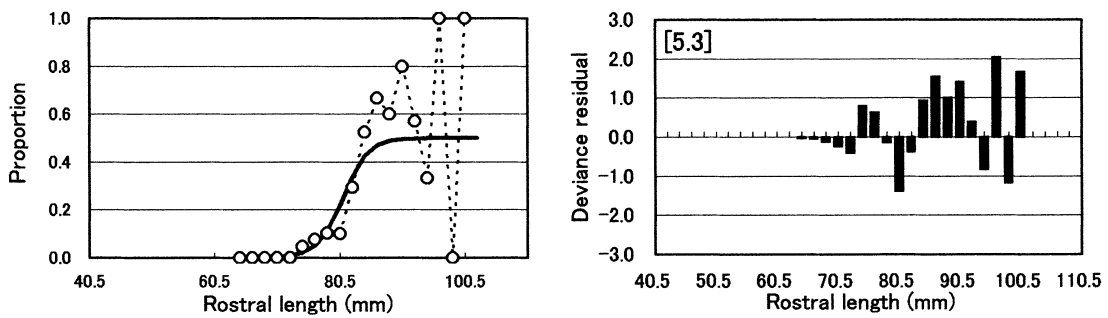


Estimated split model ($\rho = 0.542$)



100 × 53-mm escape-vent, ≥ 2 -day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.668$)

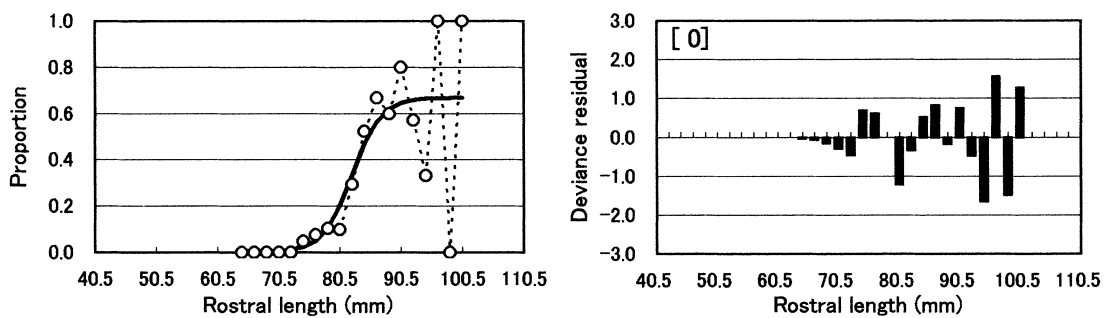
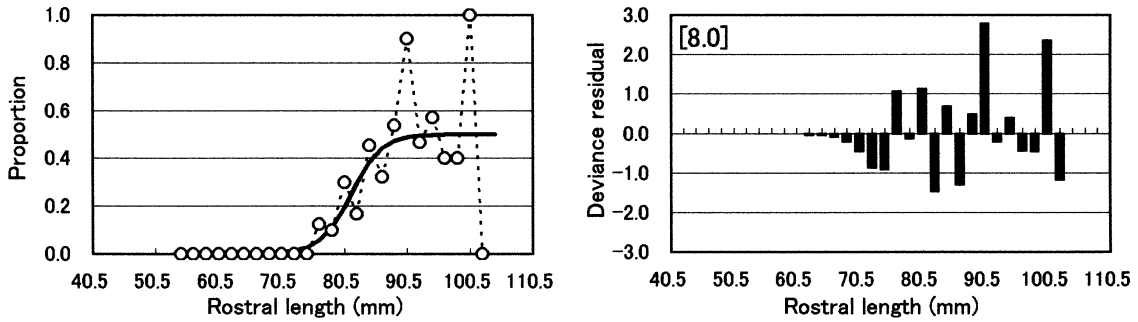


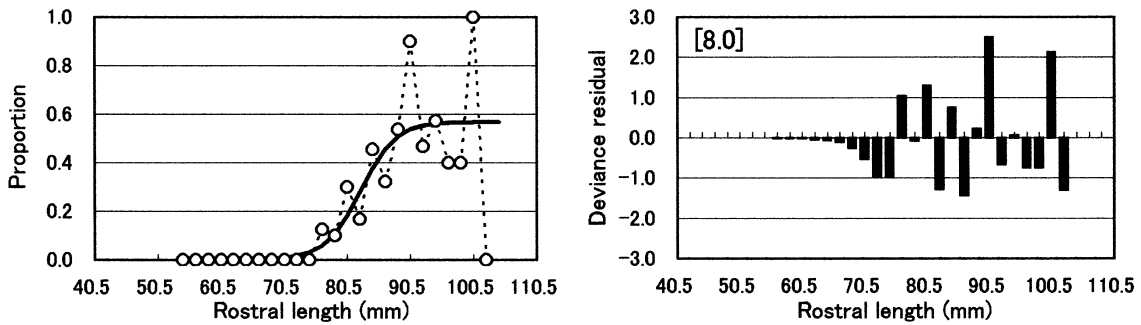
Fig.52 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 100 × 53-mm escape vent for the 1-day soak and 2-day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals 1.96 in absolute value.

100 × 55-mm escape vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

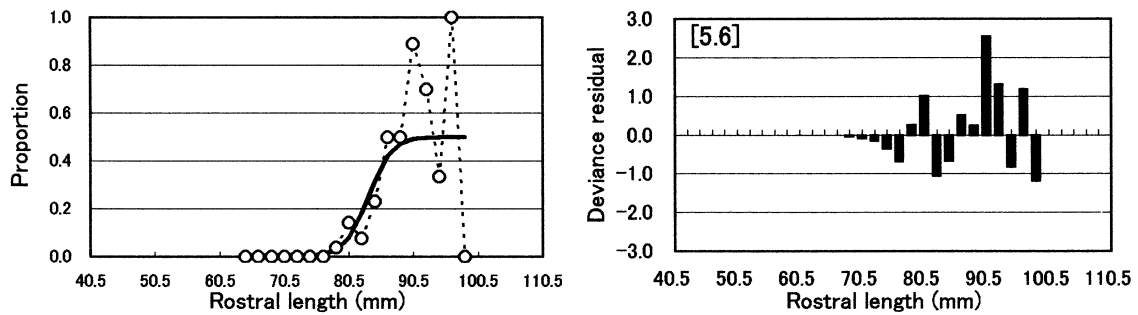


Estimated split model ($\rho =$



100 × 55-mm escape vent, ≥ 2 -day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.650$)

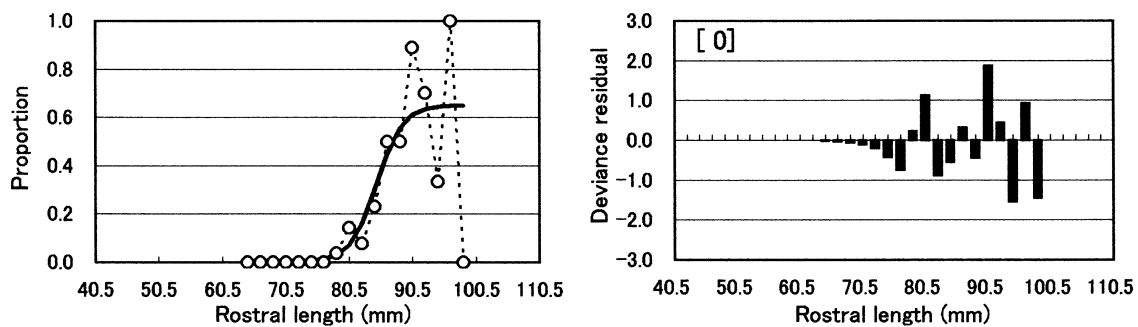


Fig.53 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 100 × 55-mm escape vent for the 1-day soak and 2-day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of length classes with residual ≥ 1.96 in absolute value.

2.5 脱出口サイズによる選択性の比較

選択されたモデルにより推定された選択性曲線をFig. 54に示した。また、選択性曲線の50%選択甲長と選択性レンジをFig. 55に示した。選択性曲線は、浸漬日数が1日の場合（実線）も2日以上の場合（破線）も、脱出口サイズが大きいほど右側にずれており、脱出口サイズが

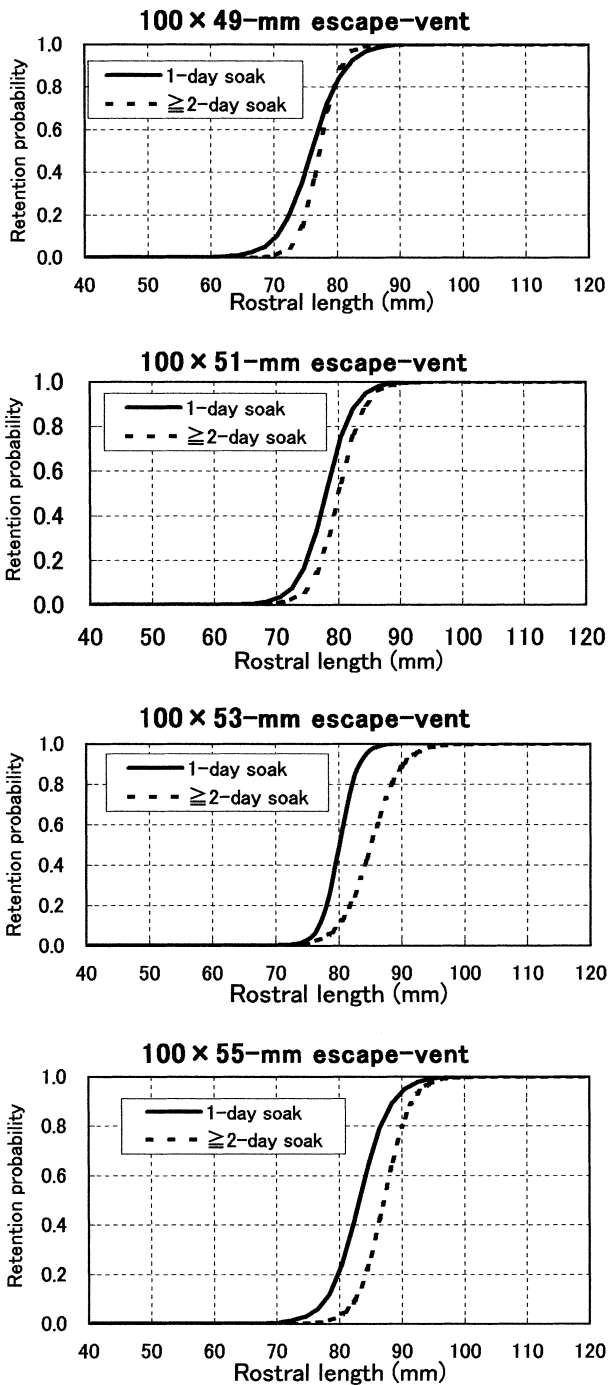


Fig.54 Size-selectivity curves for each escape-vent size used in the comparative fishing experiments, estimated by the SELECT method for the 1-day soak and 2-day soak cases.

大きいほど50%選択甲長は大きい傾向にあった。また、いずれの脱出口付きかごにおいても、浸漬日数2日以上の方が50%選択甲長は大きかった。すなわち、脱出口サイズが大きく浸漬時間が長い方が選択性が良いという傾向がみられた。脱出口サイズと選択性レンジとの関係については、浸漬日数が1日の場合も2日以上の場合も明らかでなかった。50%選択甲長が規制サイズの80mmに最も近い脱出口サイズは、浸漬日数1日では100 × 53mm、浸漬日数2日以上では100 × 51mmであった。

次に、脱出口サイズと相対漁獲効率との関係を浸漬日数別に調べた (Fig. 56)。浸漬日数1日の場合、すべての脱出口サイズについてEqual split modelが選択され、対照かごと脱出口付きかごとに漁獲効率の違いはみられなかった。一方、浸漬日数2日以上の場合、100 × 53mm脱出口付きかごと100 × 55mm脱出口付きかごとでは、相対漁獲効率の推定値が対照かごよりも高く、脱出口の有無による漁獲効率の違いがみられた。

2.6 脱出口選択性マスターカーブの推定

Table 30, 31のデータのうち、対照かごのデータを除く脱出口付きかごのデータを用いてマスターカーブの推定を行った。

Table 17に示した8つのモデルを用いて浸漬日数1日の場合のマスターカーブを推定し、モデルのパラメータ推定値、赤池の情報量規準AICとその順位、モデルの適合度検定の結果等をTable 37に示した。8つのモデルのうち、モデル8の適合はみられなかった (p 値 = 0.046) が、その他のモデルでは適合の欠落はみられなかった。AICの値から、各脱出口付きかごの相対漁獲効率を等しいとする仮定及びBaranovの仮定に基づくモデル1が、最適なモデルとして選択された。AICの値が2番目に小さいモデル3 (マスターカーブのパラメータ v_0 を導入したモデル) とモデル1とのAICの差は2であった。尤度比検定によっても、「帰無仮説 $v_0 = 0$ 」は棄却されなかった (p 値 = 0.843)。

各脱出口付きかごによる甲長階級別漁獲割合の観測値 (白丸) と、8つのモデルによる当てはめ値 (実線) をFig. 57a,bに示した。観測度数が多かった甲長階級74.5 ~ 94.5mmに注目すると、観測データには多少バラツキがみられたが、各モデルによる当てはめ値は、観測データのプロットの傾向に比較的良く当てはまっていた。また、各モデルとも逸脱度残差のプロット (Fig. 58) には系統的なパターンがみられず、残差が+1.96以上あるいは-1.96以下のセルの比率が、標準正規分布から考えられる5%を越えることはなかった。モデル1において、残差が+1.96以上あるいは-1.96以下のセルの比率は2.6%で

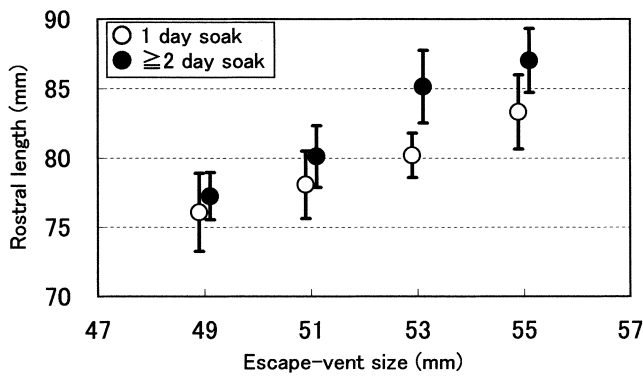


Fig.55 The rostral lengths of 50% retention (l_{50}) and the selectivity ranges (SR) for each escape-vent size used in the comparative fishing experiments, estimated by the SELECT method. Circles and vertical bars indicate l_{50} and SR, respectively.

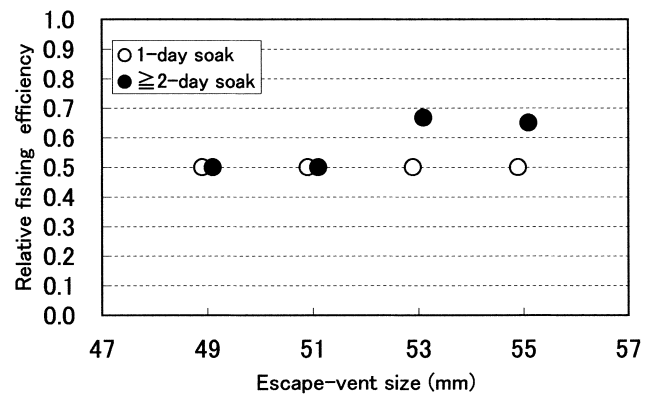


Fig.56 Plots of the relative fishing efficiencies for each escape-vent size used in the comparative fishing experiments, obtained from the SELECT analysis for the 1-day soak and 2-day soak cases.

Table 37 Parameters of escape vent selectivity master curve for the 1-day soak, estimated by the maximum-likelihood method for eight models. Parameter estimates are given from fits of logistic curve for the equal fishing efficiency ($p=0.25$) and estimated relative fishing efficiency cases. Model fit was assessed using the model deviance and degrees of freedom (d.f.) calculated using only those length classes with a total catch of 12 or more. Values in parentheses are standard errors.

	Equal fishing efficiency ($p=0.25$)				Estimated relative fishing efficiency			
	Model 1 (a, b)	Model 2 (a, b, l_0)	Model 3 (a, b, v_0)	Model 4 (a, b, l_0, v_0)	Model 5 (a, b, p_m)	Model 6 (a, b, l_0, p_m)	Model 7 (a, b, v_0, p_m)	Model 8 (a, b, l_0, v_0, p_m)
a	-33.5 (5.6)	-31.8	-36.8	-107.8	-33.4	-54.6	-22.1	-20.5
b	21.8 (3.8)	23.5	28.3	84.2	21.4	14.1	5.2	4.7
l_0	0	9.7	0	-160.0	0	-123.8	0	6.0
v_0	0	0	-9.7	-135.6	0	0	33.9	35.6
p_1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.205	0.181	0.182	0.182
p_2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.218	0.168	0.163	0.163
p_3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.273	0.233	0.226	0.225
p_4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.304	0.418	0.429	0.430
np ¹⁾	2	3	3	4	5	6	6	7
$l_{50}(v=51)$ ²⁾	78.1 (0.9)	78.7	78.9	79.0	79.8	74.4	73.2	73.0
$SR(v=51)$ ³⁾	5.1 (0.9)	4.8	4.7	4.9	5.2	8.0	7.3	7.2
MLL ⁴⁾	-537.2	-537.1	-537.1	-537.1	-535.6	-534.5	-534.4	-534.4
AIC ⁵⁾	1078.3	1080.3	1080.3	1082.2	1081.2	1081.1	1080.9	1082.8
Rank	1	3	2	7	6	5	4	8
H_0 : model fit								
Deviance	43.2	42.9	42.9	43.1	40.7	41.5	41.7	41.7
d.f.	33	32	32	31	30	29	29	28
p -value	0.111	0.095	0.095	0.073	0.093	0.063	0.060	0.046

1) The number of estimable parameters.
 2) The rostral length of 50% retention for the 51-mm high vent.
 3) The selectivity range ($l_{75} - l_{25}$) for the 51-mm high vent.
 4) Maximum log-likelihood.
 5) Akaike's information criterion.

あった。すなわち、モデル1は残差分析の面からも適切なモデルであることが確かめられた。

モデル1により推定されたマスターカーブをFig. 59に示した。脱出口サイズで標準化した50%選択甲長 (l_{50}/v) と選択性レンジ (SR/v) の値は、それぞれ1.53と0.101であった。マスターカーブを用いて実験に用いた各脱出口付きかごの選択性曲線を求めFig. 60に示した。これらの選択性曲線を Fig. 54 の脱出口サイズ別に推定した選択性曲線と比較すると、50%選択甲長で最大1.1mm、選択性レンジで最大2.1mmの違いがみられた。また、マスターカーブから、脱出口サイズと25%、50%、75%の各選択甲長との関係を図示すると、Fig. 61のようになる。

この図から、任意の脱出口サイズの50%選択甲長と選択性レンジ (75%選択甲長 - 25%選択甲長) を求めることができる。逆に、任意の甲長サイズが25%、50%、あるいは75%選択甲長となる脱出口サイズと、その選択性レンジも求めることができる。規制サイズ80mmが50%選択甲長に一致する脱出口サイズは52mm、その選択性レンジは5.2mmと推定された。

次に、浸漬日数2日以上の場合のマスターカーブを推定し、モデルのパラメータ推定値、赤池の情報量規準AICとその順位、モデルの適合度検定の結果等を Table 38に示した。8つのモデルのうち、各脱出口付きかごの相対漁獲効率が等しいと仮定したモデル1～モデル4の適合

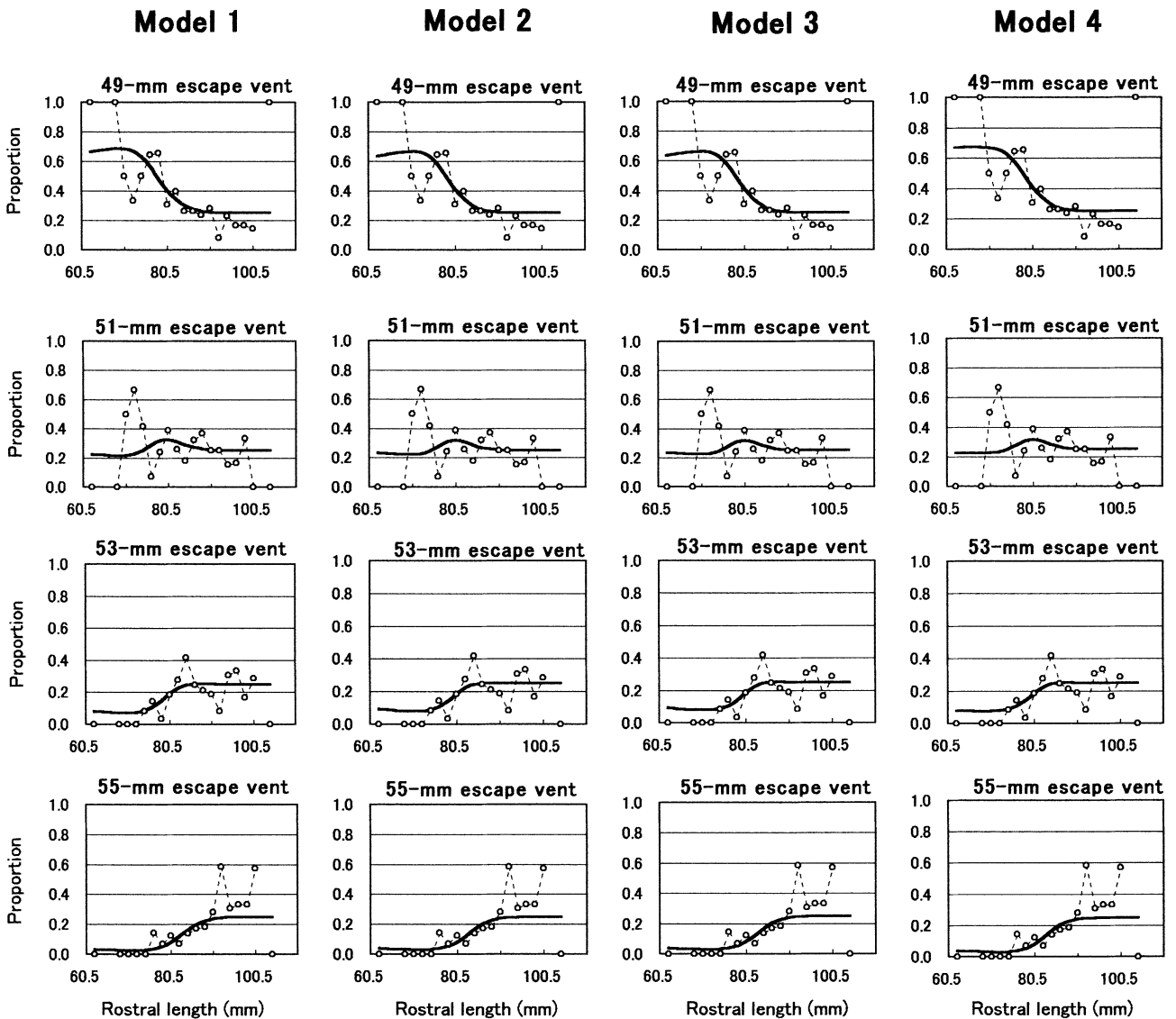


Fig.57a Plots of the proportion of the total male hair crab catch taken by each escape vent size pot for the 1-day soak, and the curves fitted to these data by the maximum likelihood method are overlaid.

はみられなかった (p 値 < 0.05) が、各脱出口付きかごの相対漁獲効率に仮定を設けないモデル5~モデル8では、適合の欠落はみられなかった。AICの値から, Baranovの仮定に基づくモデル5が最適なモデルとして選択された。AICの値が2番目に小さいモデル6 (マスターカーブのパラメータ l_0 を導入したモデル) とモデル1とのAICの差は1.7と小さかったが、尤度比検定によっても、「帰無仮説 $l_0 = 0$ 」は棄却されなかった (p 値 $= 0.470$)。モデル5における相対漁獲効率の推定値は、脱出口サイズが大きいくほど高くなる傾向があり、49mm脱出口と55mm脱出口の相対漁獲効率には2倍以上の違いがみられた。

各脱出口付きかごによる甲長階級別漁獲割合の観測値

(白丸)と、8つのモデルによる当てはめ値(実線)を Fig. 62a,bに示した。観測度数が一般に多かった甲長階級78.5~92.5mmに注目すると、51mm脱出口付きかごでは、いずれのモデルにおいても甲長階級88.5~92.5mmの観測値が当てはめ値から大きく下に外れていた。また、モデル5~8ではモデル1~4に比べ、55mm脱出口付きかごの甲長階級88.5~92.5mmに対する当てはまりがよかった。逸脱度残差のプロット (Fig. 63) を調べると、各モデルとも51mm脱出口付きかごの甲長階級88.5~92.5mmにやや大きい - の残差がみられたが、系統的なパターンはみられなかった。また、残差が $+1.96$ 以上あるいは -1.96 以下のセルの比率が、標準正規分布から考えられる5%を越

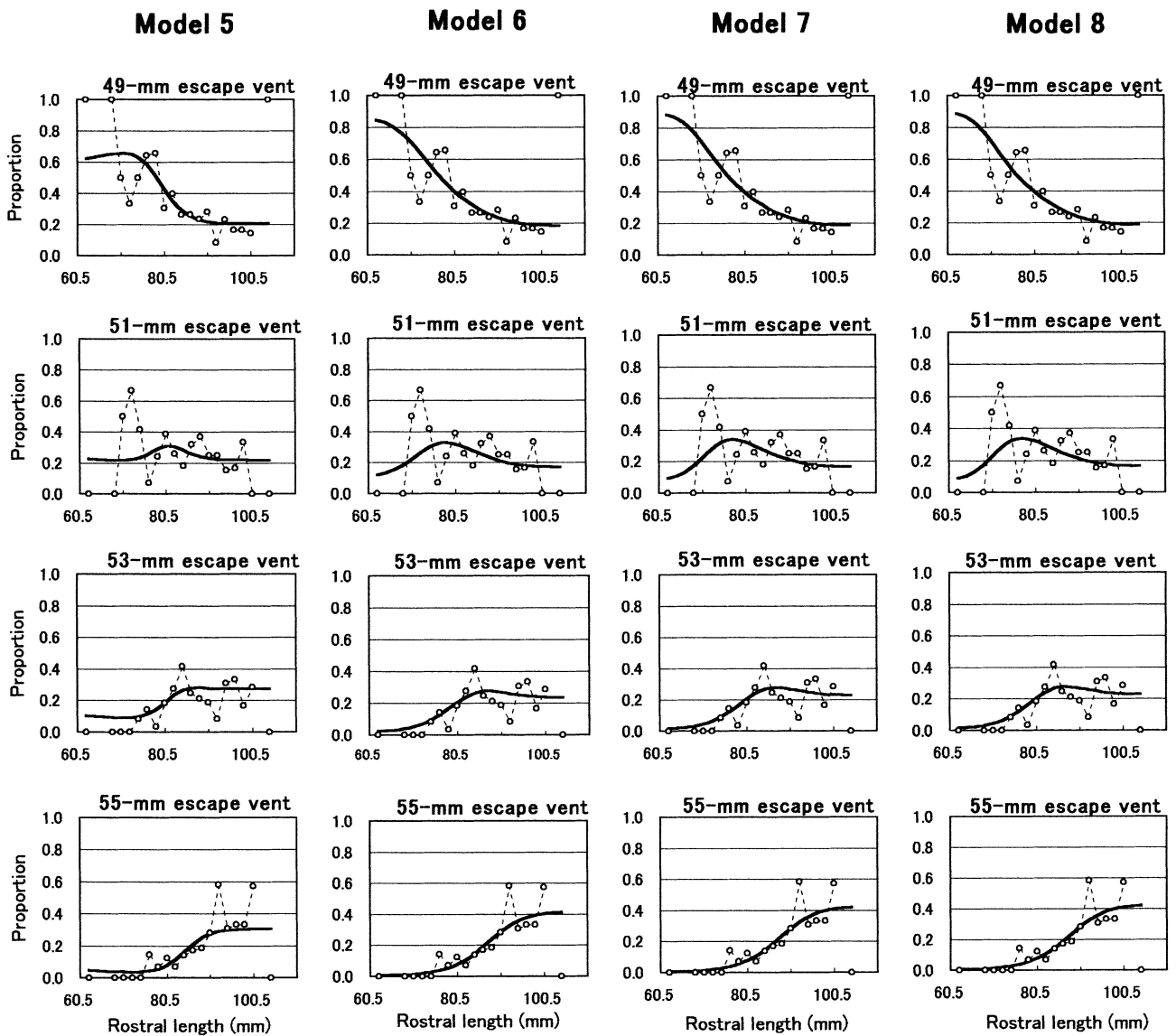


Fig.57b Plots of the proportion of the total male hair crab catch taken by each escape vent size pot for the 1-day soak, and the curves fitted to these data by the maximum likelihood method are overlaid.

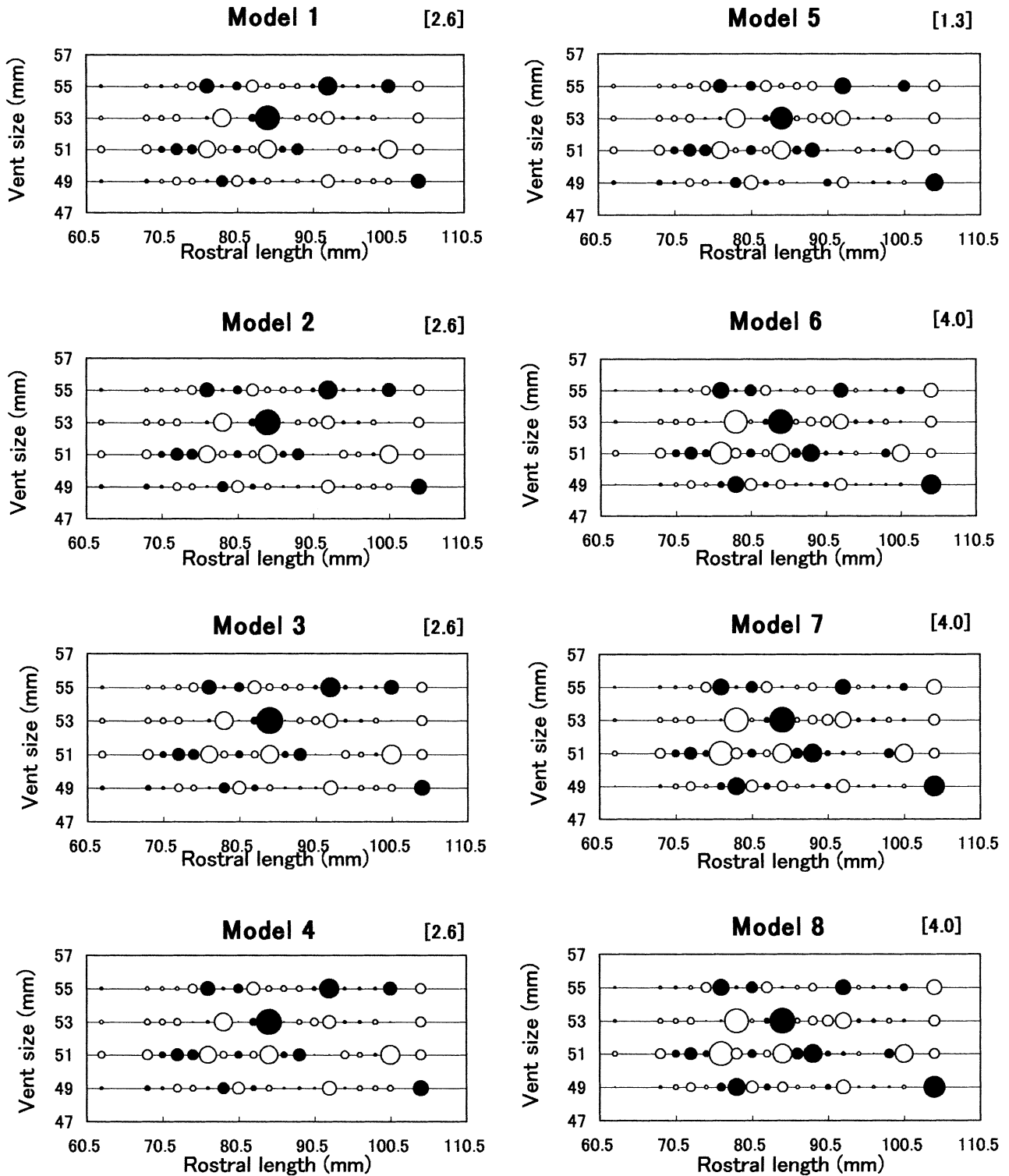


Fig.58 Plots of deviance residuals from fits of escape vent selectivity master curve to 1-day soak data. Closed and open circles correspond to positive and negative residuals, respectively. The area of the circle is proportional to the squared residual. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals > 1.96 in absolute value.

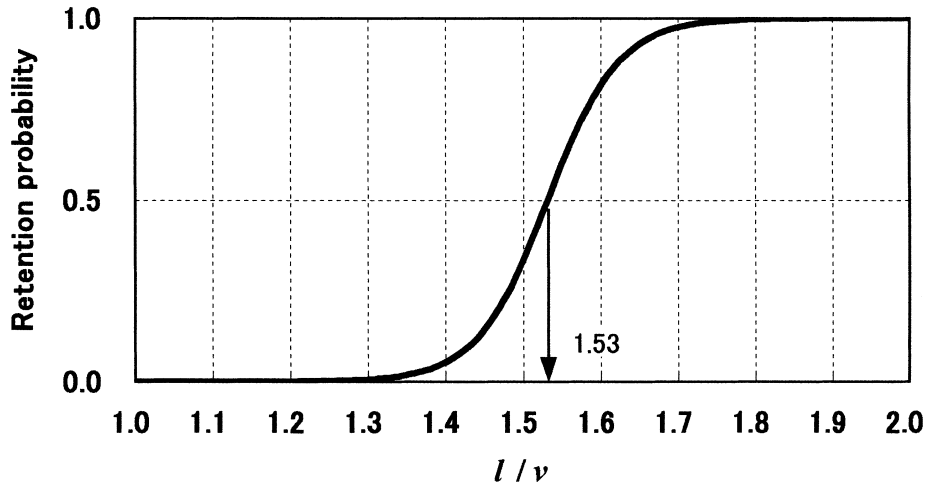


Fig.59 Escape vent selectivity master curve of hair crab pots for male hair crabs, obtained from the 1-day soak data. Master curve was estimated using Model 1 shown in Table 37.

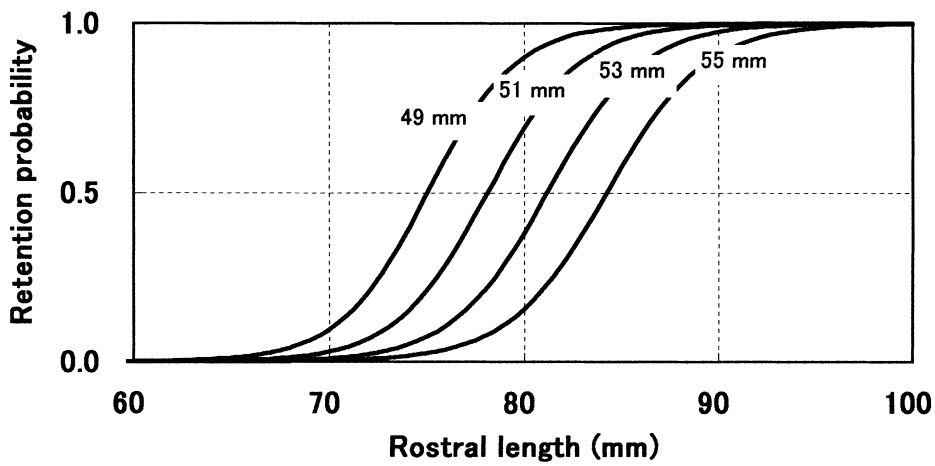


Fig.60 Escape vent selectivity curves for four vent sizes (49, 51, 53 and 55-mm) used in the fishing experiments, estimated from the escape vent selectivity master curve for the 1-day soak.

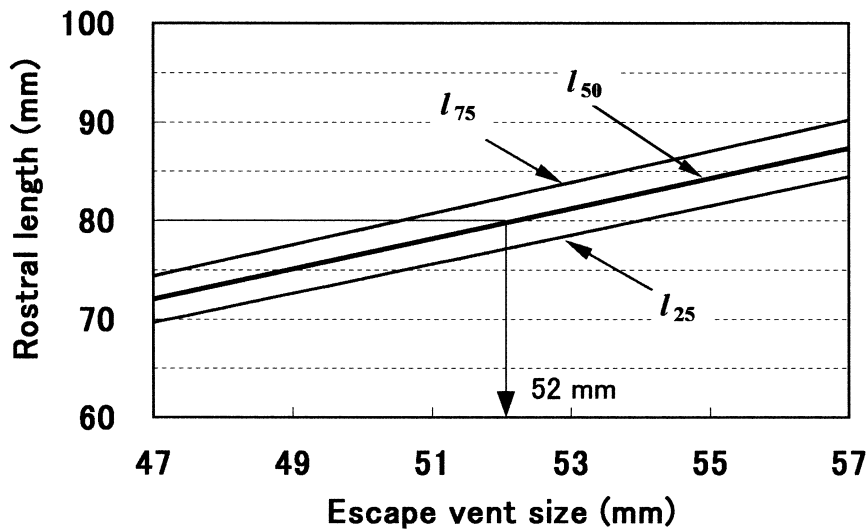


Fig.61 Relationship of l_{25} , l_{50} and l_{75} to escape vent size, obtained by escape vent selectivity master curve for the 1-day soak shown in Fig.59. l_{25} , l_{50} and l_{75} denotes the rostral length of 25%, 50% and 75% retention, respectively.

Table 38 Parameters of escape vent selectivity master curve for the 2-day soak, estimated by the maximum-likelihood method for eight models. Parameter estimates are given from fits of the logistic curve for the equal fishing efficiency ($p=0.25$) and estimated relative fishing efficiency cases. Model fit was assessed using the model deviance and degree of freedom (d.f.) calculated using only those length classes with a total catch of 12 or more. Values in parentheses are standard errors.

	Equal fishing efficiency ($p=0.25$)				Estimated relative fishing efficiency			
	Model 1 (a, b)	Model 2 (a, b, l_0)	Model 3 (a, b, v_0)	Model 4 (a, b, l_0, v_0)	Model 5 (a, b, p_m)	Model 6 (a, b, l_0, p_m)	Model 7 (a, b, v_0, p_m)	Model 8 (a, b, l_0, v_0, p_m)
a	-41.8	-34.3	-52.7	-13.9	-45.6 (5.0)	-42.3	-50.8	-18.9
b	26.6	34.0	52.4	11.5	28.4 (3.3)	32.0	38.2	12.4
l_0	0	29.9	0	60.6	0	14.9	0	52.1
v_0	0	0	-29.9	34.4	0	0	-10.9	31.6
p_1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.148 (0.054)	0.151	0.150	0.153
p_2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.183 (0.051)	0.195	0.194	0.193
p_3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.294 (0.066)	0.302	0.301	0.299
p_4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.375	0.353	0.355	0.356
np ¹⁾	2	3	3	4	5	6	6	7
l_{50} ($v=51$) ²⁾	78.3	80.4	80.5	79.5	81.8 (1.0)	82.3	82.3	81.7
SR ($v=51$) ³⁾	4.1	3.2	3.4	3.0	3.9 (0.5)	3.5	3.6	3.4
MLL ⁴⁾	-336.8	-335.9	-336.0	-335.6	-331.6	-331.4	-331.5	-331.3
AIC ⁵⁾	677.7	677.7	678.0	679.1	673.2	674.9	674.9	676.6
Rank	5	6	7	8	1	2	3	4
H_0 : model fit								
Deviance	37.1	36.4	36.5	35.8	26.3	27.2	27.1	26.7
d.f.	24	23	23	22	21	20	20	19
p -value	0.032	0.027	0.027	0.023	0.156	0.101	0.102	0.084

1) The number of estimatable parameters.

2) The rostral length of 50% retention for the pots with 51-mm high vents.

3) The selectivity range ($l_{75} - l_{25}$) for the pots with 51-mm high vents.

4) Maximum log-likelihood.

5) Akaike's information criterion.

えるモデルはなかった。選択されたモデル5において、残差が+1.96以上あるいは-1.96以下のセルの比率は1.5%であった。すなわち、モデル5は残差分析の面からも適切なモデルであると考えられた。

モデル5により推定されたマスターカーブをFig. 64に示した。脱出口サイズで標準化した50%選択甲長(l_{50}/v)と選択性レンジ(SR/v)の値は、それぞれ1.60と0.077であり、浸漬日数1日の場合に比べ50%選択甲長は大きく、選択性レンジは小さかった。このマスターカーブを用いると、実験に用いた各脱出口付きかごの選択性曲線はFig. 65のように推定された。これらの選択性曲線をFig. 54の脱出口サイズ別に推定した選択性曲線と比較すると、50%選択甲長で最大1.7mm、選択性レンジで最大1.1mmの違いがみられた。また、マスターカーブから、脱出口サイズと25%、50%、75%の各選択甲長との関係を図示すると、Fig. 66ようになる。これらの関係から、

規制サイズ80mmが50%選択甲長に一致する脱出口サイズは50mm、その選択性レンジは3.9mmと推定された。

2.7 脱出口の数による選択性

各回の操業実験における浸漬日数、操業位置、水深、漁獲尾数等をTable 39に示した。浸漬日数は原則1日としたが、気象条件により最大4日となった。本実験で漁獲されたケガニは、雄647尾、雌12尾、計659尾であった。漁獲されたケガニの甲長範囲は、雄が54~102mm、雌が54~62mmであった。

これらのケガニの甲長組成をかごの種類別にFig. 67に示した。脱出口を持たない対照かごでは規制サイズ未満の雄の漁獲が多いほか雌の漁獲もみられ、漁獲物の甲長範囲は広がった。一方、85×55mmの脱出口を1個取り付けたかごと2個取り付けたかごでは、規制サイズ未満の漁獲が少なく、雌の漁獲はみられなかった。

かごの種類別の漁獲尾数を規制サイズ以上の雄, 規制サイズ未満の雄, 雌に区分して比較した(Fig. 68)。規制サイズ以上の漁獲尾数にはほとんど違いはみられなかったが, 規制サイズ未満の漁獲尾数は脱出口付きのかごで著しく少なく, 脱出口が1個よりも2個のかごでやや少なかった。

かごの種類別の平均甲長を Fig. 69 に示した。雄の平均甲長は, 対照かごが79mmで最も小さかった。脱出口付きかごの雄の平均甲長は, 脱出口が1個の場合84mm, 2個の場合85mmであり, *t* 検定では両者に有意な差はみられなかった(p 値=0.567)。

次に, 各作業回毎の規制サイズ以上の雄のCPUE (Table 40) と, 雌と規制サイズ未満の雄のCPUE (Table 41) を用いて, かごの種類により漁獲尾数に差があるかどうかを調べた。規制サイズ以上の雄のCPUEの平均も, 雌と規制サイズ未満の雄のCPUEの平均も, 対照かご, 85×55mmの脱出口を1個取り付けたかご, 2個取り付けたかごの順に高かった。操業日とかごの種類を要因としたフリードマン検定の結果, 規制サイズ以上の雄のCPUEには, かごの種類による違いはみられなかった (p 値 > 0.05) が, 雌と規制サイズ未満の雄のCPUEには, かごの種類による有意な差がみられた (p 値 < 0.01)。なお, 操業回

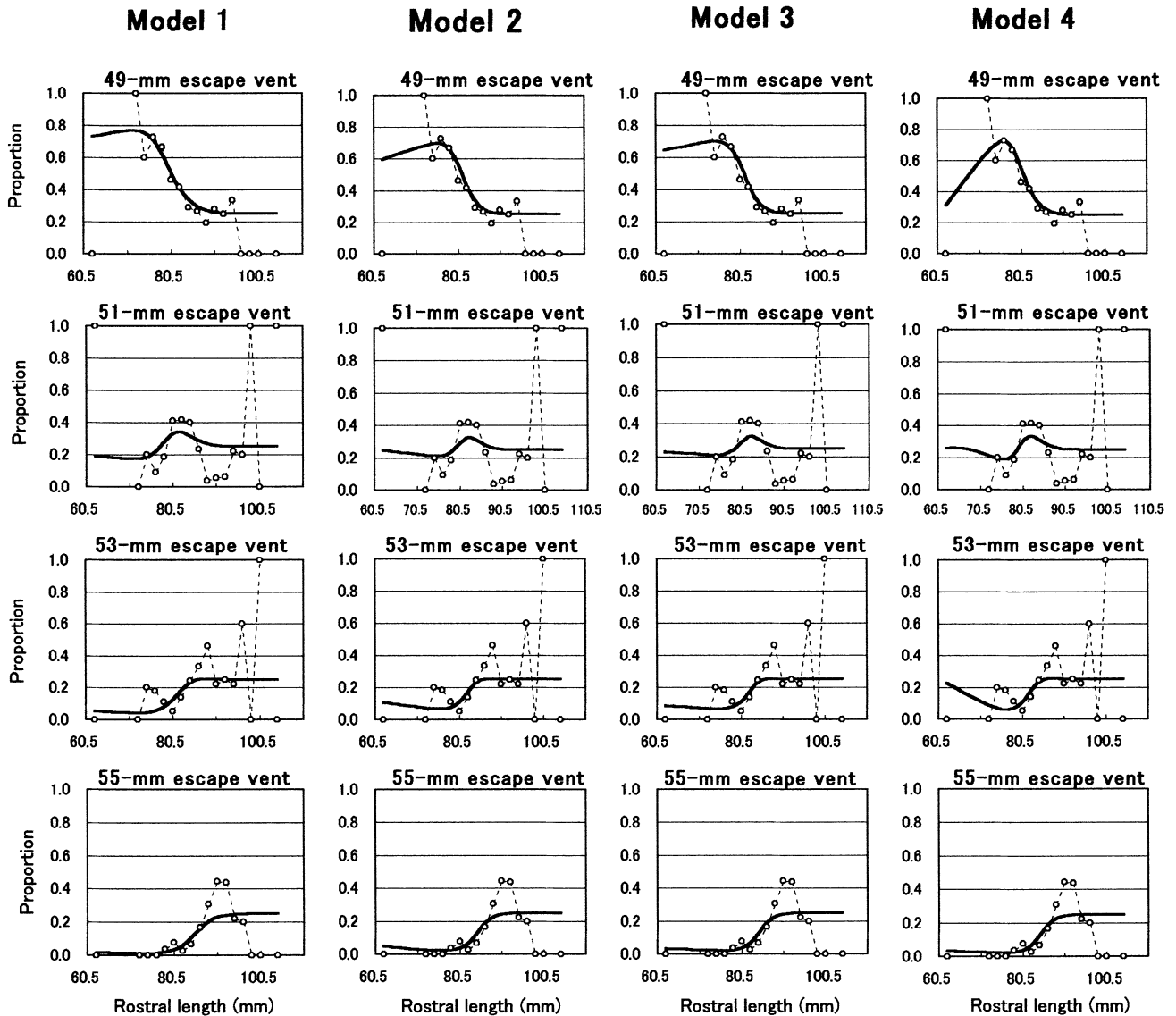


Fig.62a Plots of the proportion of the total male hair crab catch taken by each escape vent-size pot for the 2-day soak, and the curves fitted to these data by the maximum likelihood method are overlaid.

数が少なかったため、かごの種類間の違いについては検定しなかった。

以上の検討から、脱出口の有無による選択性の違いは明らかであったが、脱出口の数が選択性に与える影響については明らかとならなかった。

次に、浸漬日数を考慮して、脱出口の数が1個のかごと2個のかごの選択性曲線を推定した。ただし、雌の漁獲尾数が非常に少なかったため、雄についての選択性曲線のみを推定した。浸漬日数1日の実験によるかごの種類別・甲長階級別漁獲尾数を Table 42に、浸漬日数2日以上のそれを Table 43に示した。甲長階級の間隔は2 mm

とした。これらのデータにEqual split modelとEstimated split model を適用した時の選択性曲線のパラメータと相対漁獲強度 p の推定値、50%選択甲長 l_{50} と選択性レンジ SR の推定値、適合度検定と帰無仮説 $p=0.5$ の尤度比検定の結果を Table 44, 45に示した。また、脱出口付きかごによる甲長階級別の漁獲割合の観測値とSELECT モデルによる当てはめ値及び逸脱度残差をFig. 70, 71に示した。なお 過分散が考えられる場合には Estimated split model における逸脱度(model deviance)の自由度に対する比で過分散の大きさを推定し、尤度比検定の統計量とパラメータ推定値の標準誤差を補正した。

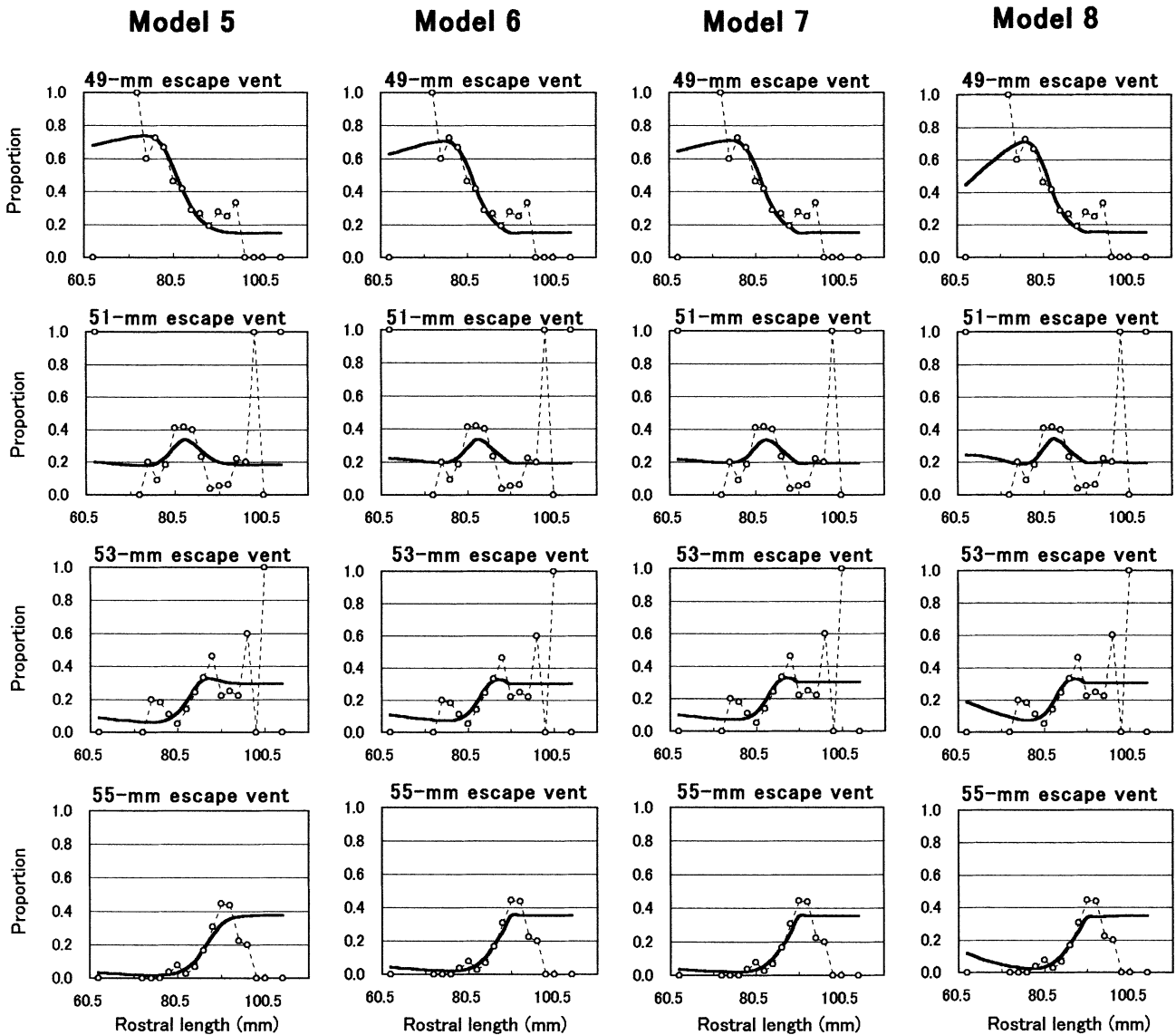


Fig.62b Plots of the proportion of the total male hair crab catch taken by each escape vent-size pot for the 2-day soak, and the curves fitted to these data by the maximum likelihood method are overlaid.

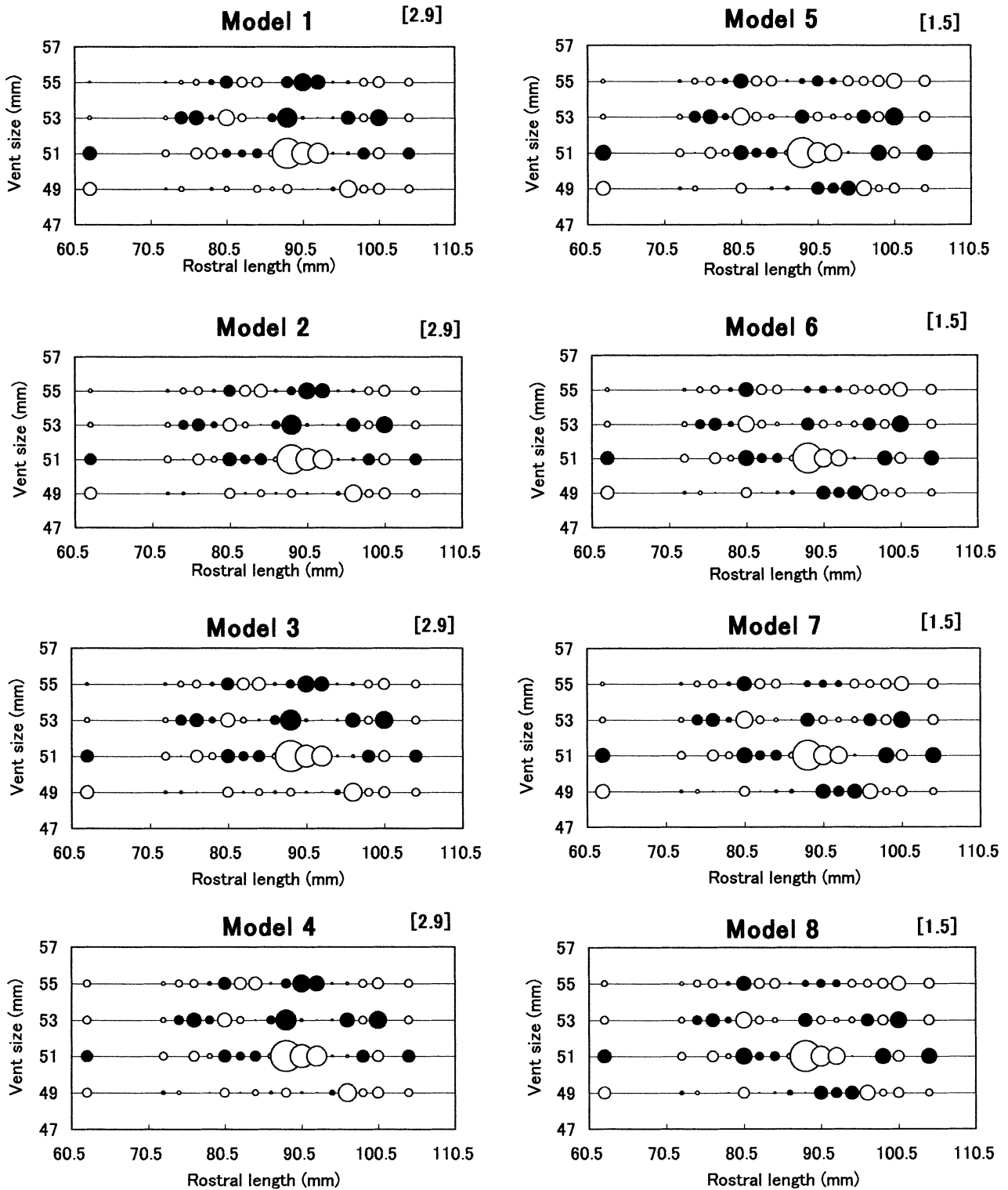


Fig.63 Plots of deviance residuals from fits of escape vent selectivity master curve to 2-day soak data. Closed and open circles correspond to positive and negative residuals, respectively. The area of the circle is proportional to the squared residual. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals > 1.96 in absolute value.

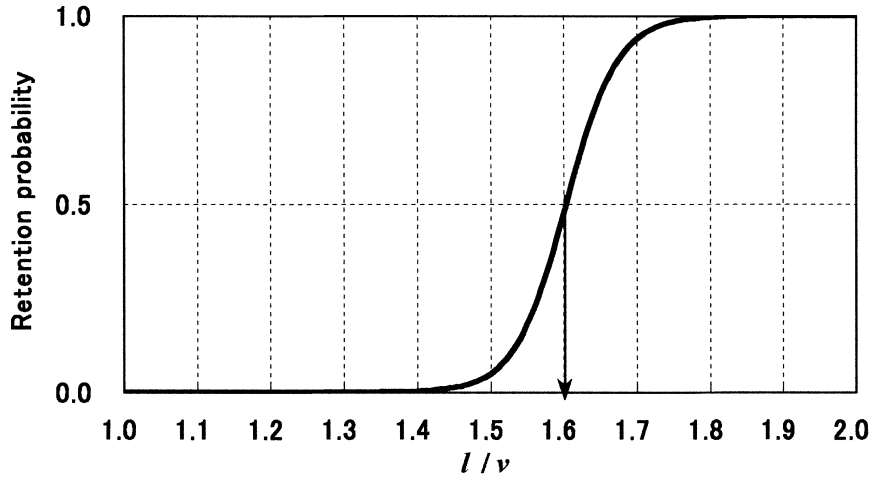


Fig.64 Escape vent selectivity master curve of hair crab pots for male hair crabs, obtained from the 2-day soak data. Master curve was estimated using Model 5 shown in Table 38.

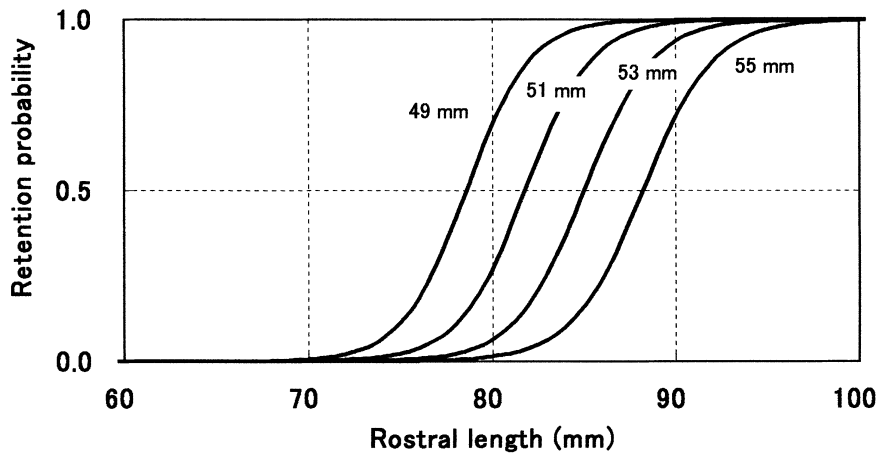


Fig.65 Escape vent selectivity curves for four vent-sizes (49, 51, 53 and 55-mm) used in the fishing experiments, estimated from the escape vent selectivity master curve for the 2-day soak.

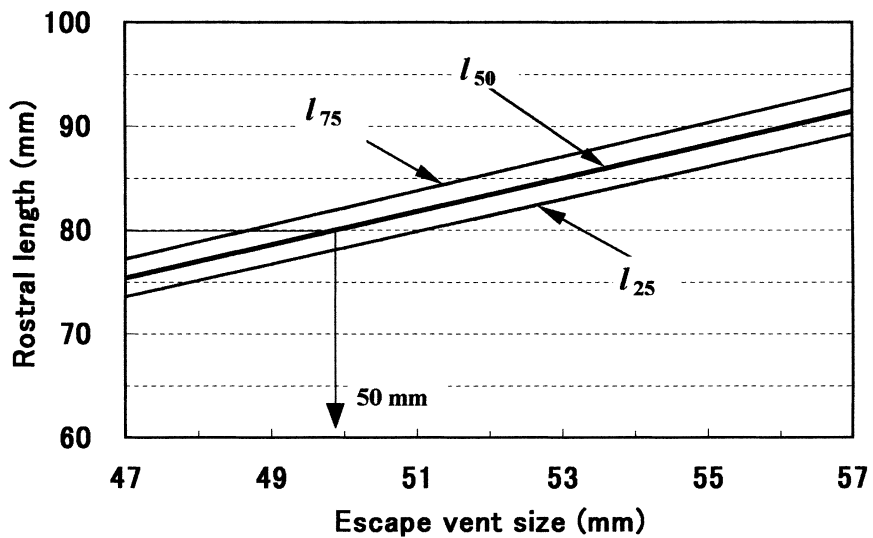


Fig.66 Relationship of l_{25} , l_{50} and l_{75} to escape vent size, obtained by the escape vent selectivity master curve for the 2-day soak shown in Fig.64. l_{25} , l_{50} and l_{75} denotes the rostral length of 25%, 50% and 75% retention, respectively.

Table 39 Details of escape vent selectivity experiments for hair crab pots with different number of escape vents.

Haul number	Date		Soak time (d)	Location		Depth (m)	Vent size (mm)	Number of vents	Number of pots	Number of crabs caught		
	Setting	Hauling		N	E					Legal size males	Sublegal size males	Females
1	7/14/90	7/15/90	1	44°44.0'	143°02.7'	81	control		10	45	43	3
							85×55	1	10	50	11	
							85×55	2	10	51	5	
2	7/15/90	7/16/90	1	44°44.0'	143°02.7'	81	control		10	28	18	2
							85×55	1	10	35	4	
							85×55	2	10	35	2	
3	7/16/90	7/18/90	2	44°44.0'	143°02.7'	81	control		10	24	13	3
							85×55	1	10	19	2	
							85×55	2	10	21	2	
4	7/18/90	7/22/90	4	44°43.2'	143°02.2'	73	control		10	22	26	3
							85×55	1	10	15	2	
							85×55	2	10	5		
5	7/22/90	7/23/90	1	44°43.9'	143°02.4'	70	control		10	11	17	1
							85×55	1	10	14	2	
							85×55	2	10	15	4	
6	7/26/91	7/29/91	3	44°47.4'	143°01.3'	93	control		10	22	25	
							85×55	1	10	6	10	
							85×55	2	10	7		
7	7/29/91	8/1/91	3	44°47.4'	143°01.3'	93	control		10	23	22	
							85×55	1	10	12	4	
							85×55	2	10	7		

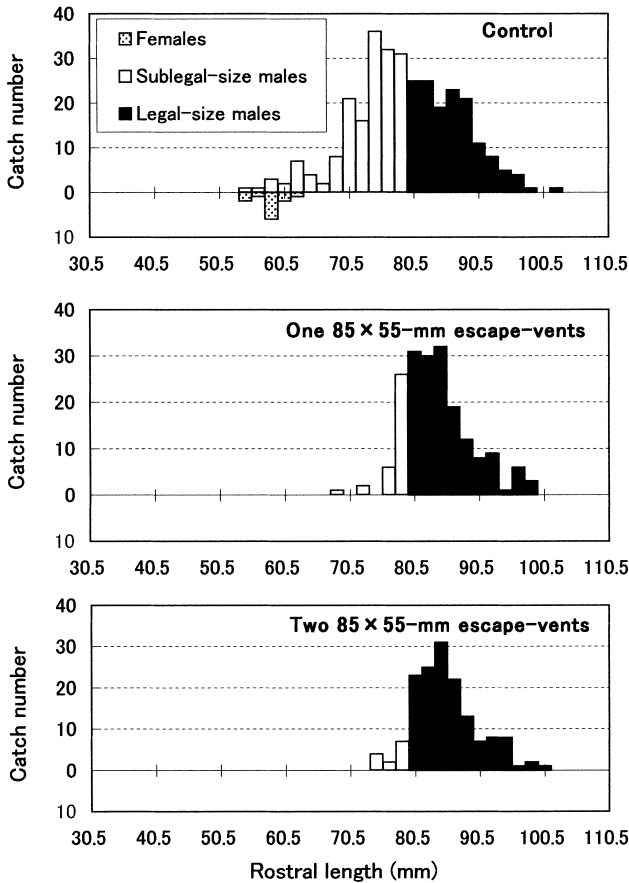


Fig.67 Rostral length frequency distributions of hair crabs caught by control (non-vented), one 85 × 55-mm vented and two 85 × 55-mm vented pots. Stippled, open and solid bars represent females, sublegal-sized males and legal-sized males, respectively. Data have been pooled with respect to the soak times.

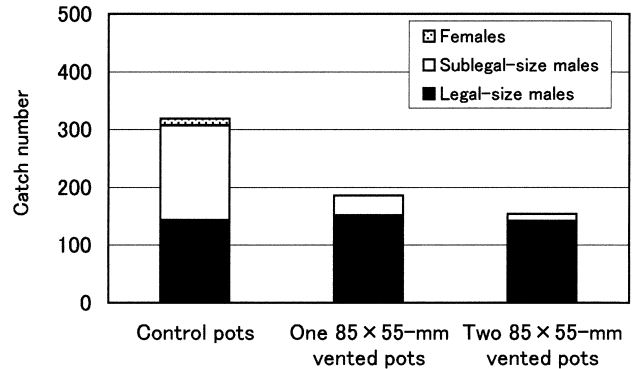


Fig.68 Catch number of hair crabs caught by control (non-vented), one 85 × 55-mm vented and two 85 × 55-mm vented pots.

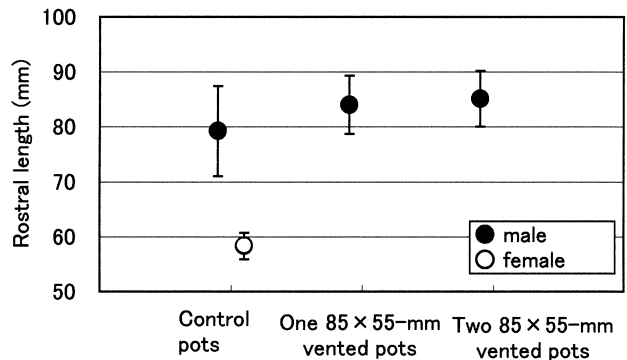


Fig.69 The means (circles) and standard deviations (vertical bars) of the rostral length for hair crabs caught by control (non-vented), one 85 × 55-mm vented and two 85 × 55-mm vented pots.

Table 40 Catch per unit effort(CPUE) by number of legal sized hair crabs caught by control pots and pots with different number of 85 × 55-mm escape-vents.

Haul number	Number of escape-vent		
	control	One	Two
1	4.5	5.0	5.1
2	2.8	3.5	3.5
3	2.4	1.9	2.1
4	2.2	1.5	0.5
5	1.1	1.4	1.5
6	2.2	0.6	0.7
7	2.3	1.2	0.7
Mean	2.50	2.16	2.01
SE	0.24	0.36	0.41

Table 41 Catch per unit effort(CPUE) by number of sublegal sized hair crabs caught by control pots and pots with different number of 85 × 55-mm escape-vents.

Haul number	Number of escape-vent		
	control	One	Two
1	4.6	1.1	0.5
2	2.0	0.4	0.2
3	1.6	0.2	0.2
4	2.9	0.2	0.0
5	1.8	0.2	0.4
6	2.5	1.0	0.0
7	2.2	0.4	0.0
Mean	2.51	0.50	0.19
SE	0.24	0.09	0.05

Table 42 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different number of 85 × 55-mm escape-vents and control pots for the 1-day soak.

Rostral length (mm)	Number of escape-vent		
	control	1	2
50.5	0	0	0
52.5	0	0	0
54.5	0	0	0
56.5	0	0	0
58.5	3	0	0
60.5	2	0	0
62.5	5	0	0
64.5	3	0	0
66.5	1	0	0
68.5	5	1	0
70.5	10	0	0
72.5	8	1	0
74.5	16	0	4
76.5	11	3	1
78.5	14	12	6
80.5	15	14	15
82.5	11	23	20
84.5	13	21	20
86.5	12	12	16
88.5	13	9	9
90.5	8	5	5
92.5	5	9	7
94.5	2	1	7
96.5	3	2	1
98.5	1	3	1
100.5	0	0	0
102.5	1	0	0
Total	162	116	112
Total <80	78	17	11
Total ≥80	84	99	101

Table 43 Rostral length frequencies for male hair crabs caught by the pots with different number of 85 × 55-mm escape-vents and control pots for the 2-day soak.

Rostral length (mm)	Number of escape-vent		
	control	1	2
50.5	0	0	0
52.5	0	0	0
54.5	1	0	0
56.5	1	0	0
58.5	0	0	0
60.5	0	0	0
62.5	2	0	0
64.5	1	0	0
66.5	1	0	0
68.5	3	0	0
70.5	11	0	0
72.5	8	1	0
74.5	20	0	0
76.5	21	3	1
78.5	17	14	1
80.5	10	17	8
82.5	14	7	5
84.5	6	11	11
86.5	11	7	6
88.5	8	3	4
90.5	3	3	2
92.5	3	0	1
94.5	3	0	1
96.5	1	4	0
98.5	0	0	1
100.5	0	0	1
102.5	0	0	0
Total	145	70	42
Total <80	86	18	2
Total ≥80	59	52	40

Table 44 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with one 85 × 55-mm escape vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-43.2 (14.7)	-40.9	-73.8 (26.7)	-75.0
b	0.558 (0.195)	0.523	0.948 (0.349)	0.966
p	0.5	0.558	0.5	0.480
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	77.4 (1.1)	78.3	77.8 (0.7)	77.7
SR	3.9 (1.4)	4.2	2.3 (0.9)	2.3
H_0 : model fit				
Deviance	10.5	8.4	10.4	10.4
d.f.	7	6	6	5
p -value	0.162	0.213	0.108	0.065
H_0 : $p = 0.5$				
Deviance		2.2		0.2
d.f.		1		1
p -value		0.138		0.660

1) Number of parameters.

2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

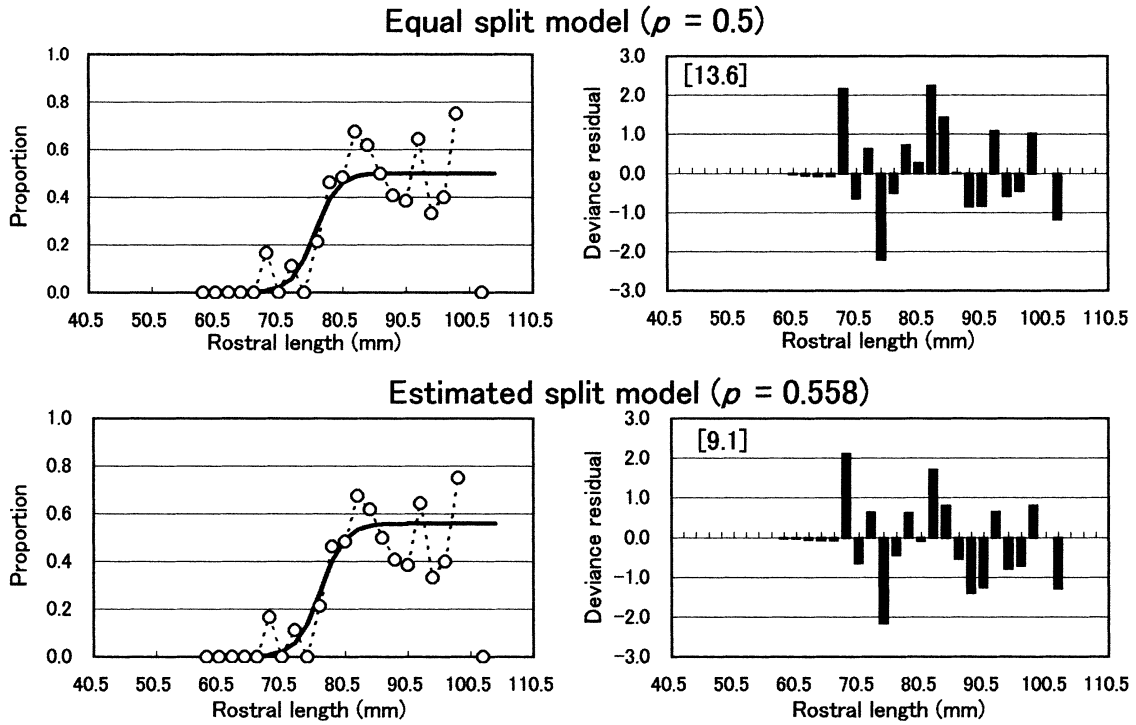
Table 45 Maximum likelihood fits of the logistic selection curve for the pots with two 85 × 55-mm escape vents. The model fit was assessed using the deviance and d.f.'s calculated using the length classes with the expected catch of greater than 3 in both the experimental and control pots. The hypothesis of equal relative fishing efficiency ($p = 0.5$) was tested by the likelihood ratio test using the deviance and d.f.'s calculated using all length classes with a none-zero catch. Values in parentheses are standard errors.

	1-day soak		≥ 2 -day soak	
	Equal split model	Estimated split model	Equal split model	Estimated split model
a	-48.3 (16.9)	-44.5	-69.7 (46.0)	-86.6
b	0.620 (0.223)	0.565	0.864 (0.583)	1.086
p	0.5	0.557	0.5	0.414
np ¹⁾	2	3	2	3
l_{50}	77.8 (1.1)	78.7	80.7 (1.7)	79.7
SR	3.5 (1.3)	3.9	2.5 (1.7)	2.0
H_0 : model fit				
Deviance	12.7	9.7	8.7	7.0
d.f.	8	7	3	2
p -value	0.122	0.205	0.034	0.030
H_0 : $p = 0.5$				
Deviance		1.9		0.6
d.f.		1		1
p -value		0.165		0.428
c ²⁾				3.51

1) Number of parameters.

2) Dispersion parameter estimated by the ratio of model deviance to its d.f..

One 85 × 55-mm escape-vent, 1-day soak



One 85 × 55-mm escape-vent, ≥ 2 -day soak

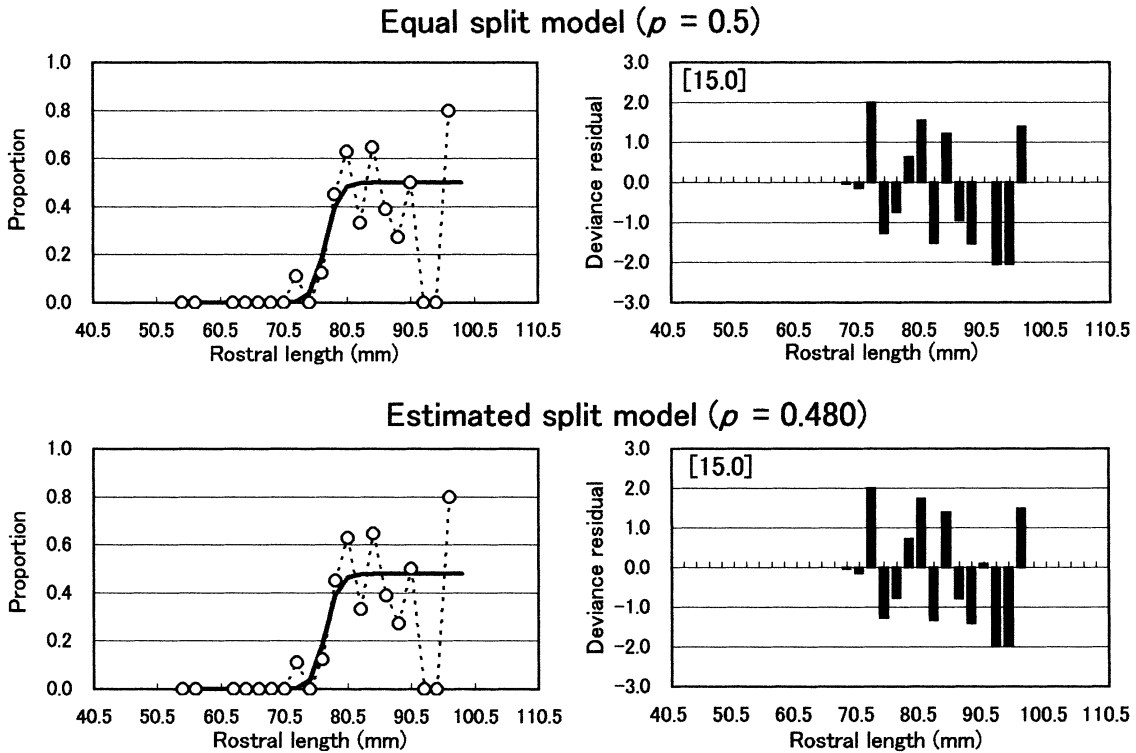
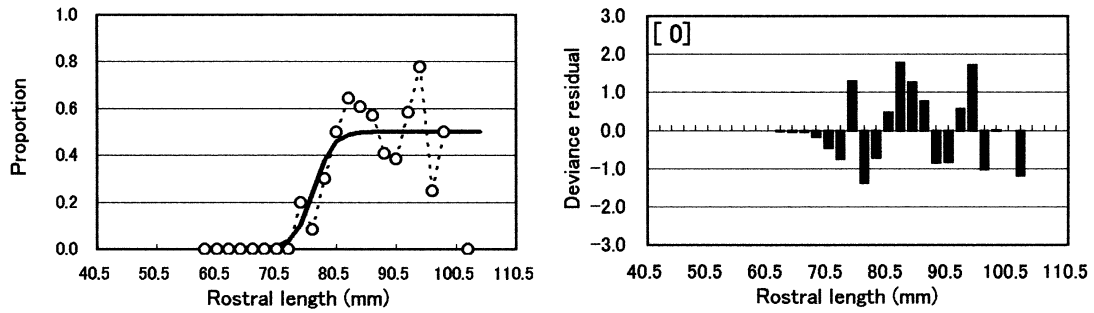


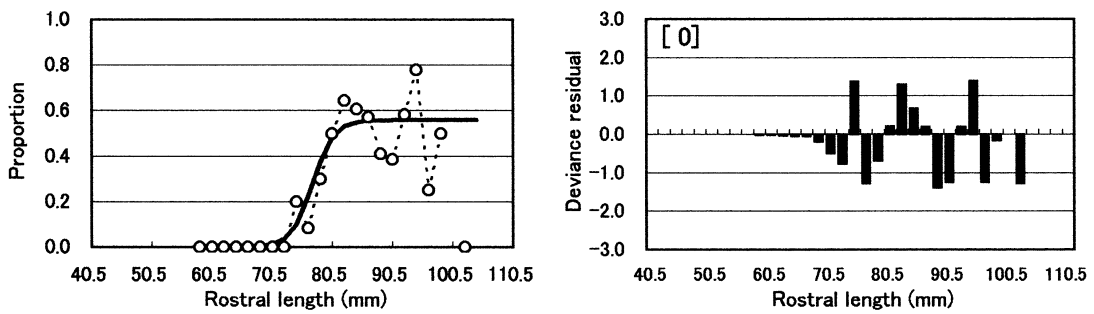
Fig.70 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with one 85 × 55-mm escape-vent for the 1-day soak and ≥ 2 -day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals ≥ 1.96 in absolute value.

Two 85 × 55-mm escape-vent, 1-day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)

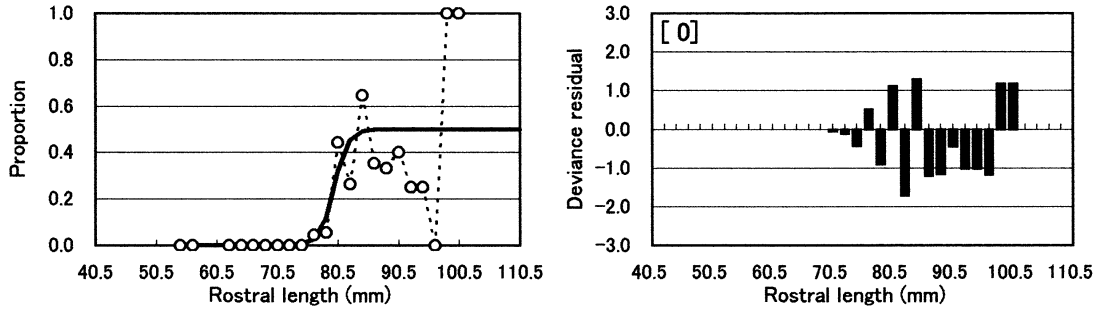


Estimated split model ($\rho = 0.557$)



Two 85 × 55-mm escape-vent, ≥ 2 -day soak

Equal split model ($\rho = 0.5$)



Estimated split model ($\rho = 0.414$)

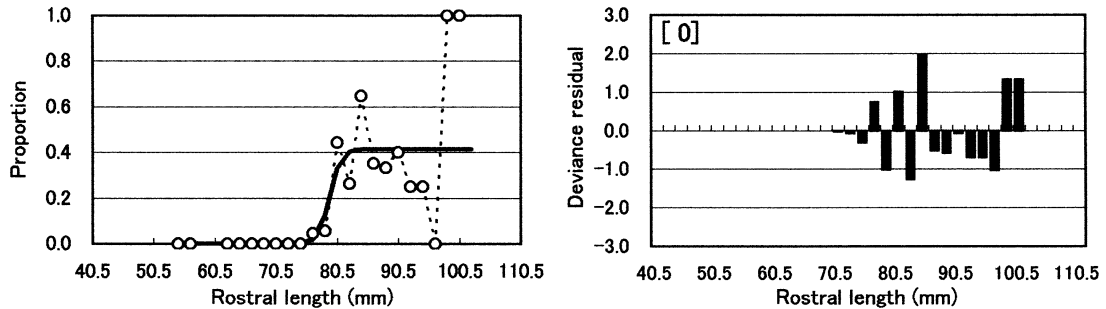


Fig.71 Plots of the proportion of the total catch for each length class taken by pots with two 85 × 55-mm escape-vents for the 1-day soak and 2-day soak and the deviance residuals from fits. Open circles and solid lines indicate the observed and estimated proportions, respectively. Values in square brackets are the percentage of the length classes with residuals ≥ 1.96 in absolute value.

脱出口が1個のかごでは、浸漬日数が1日の場合も2日以上の場合も、尤度比検定によりEqual split modelが選択され、適合度検定による適合の欠落はみられなかった (Table 44)。残差を調べると、大きな残差が目立つが傾向は見受けられなかった (Fig. 70)。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は77.4mm (標準誤差1.1mm)、選択性レンジは3.9mm (標準誤差1.4mm)と推定された。一方、浸漬日数2日の場合の50%選択甲長は77.8mm (標準誤差0.7mm)、選択性レンジは2.3mm (標準誤差0.9mm)と推定された。

脱出口が2個のかごにおいても、尤度比検定により浸漬日数が1日の場合も2日の場合も、Equal split modelが選択された。適合度検定において、浸漬日数1日では適合の欠落はみられなかったが、浸漬日数2日以上では適合はみられなかった (Table 45)。残差を調べると、甲長階級86.5~96.5mmに - の残差が連続していたが、適合度検定では対照かごと脱出口付きかごの双方の漁獲尾数の期待値が3以上の甲長階級を対象としており、甲長階級90.5mm以上の階級は用いられていない。したがって、適合の欠落の原因はモデルが適切でないことにあるのではなく、過分散の可能性が高いと考えられた。選択されたモデルから、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長は77.8mm (標準誤差1.1mm)、選択性レンジは3.5mm (標準誤差1.3mm)と推定された。一方、浸漬日数2日以上の場合の50%選択甲長は80.7mm (標準誤差1.7mm)、選択性レンジは2.5mm (標準誤差1.7mm)と推定された。

選択されたモデルによる選択性曲線を、浸漬日数の区分別に Fig. 72 に示した。浸漬日数1日の場合、脱出口の数が1個と2個のかごの選択性曲線は、非常に良く類似していたが、浸漬日数2日以上の場合、両者の選択性曲線には違いがみられた。両者の選択性曲線の違いをより客観的に検討するために、選択性曲線のパラメータの与え方を変えた4つのモデルを当てはめ、AICにより比較した結果を Table 46, 47 に示した。ただし、先に述べたモデル選択の結果を踏まえ、それぞれのかごの相対漁獲効率を等しいと仮定した。浸漬日数1日の場合には、両者の選択性曲線が等しいモデルが選択され、脱出口の数の違いによる選択性曲線の違いは認められなかった。一方、浸漬日数2日以上の場合には、両者のかごの50%選択甲長の比と選択性レンジの比が同一であるモデルのAICが最小であったが、選択性レンジが等しく50%選択甲長が異なるモデルのAICとの差は0.1とわずかであり、どちらのモデルが適切かを判断することは困難であった。しかし、両モデルによる50%選択甲長の推定値は一致しており、選択性レンジの推定値は類似していた。両モデルとも脱出口の数の増加に伴って50%選択甲長の

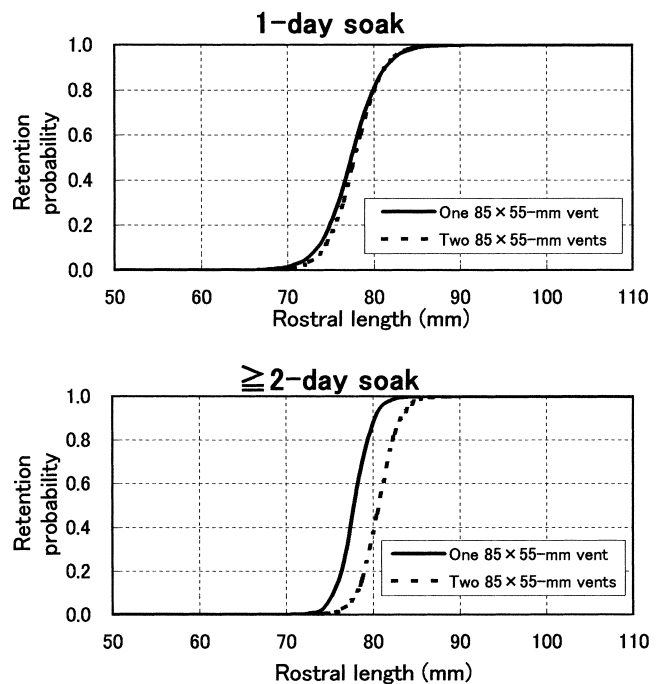


Fig.72 Size-selectivity curves for hair crab pots with different number (one and two) of escape-vents, estimated by the SELECT method for the 1-day soak and 2-day soak cases.

推定値は77.9mmから80.8mmに増大しており、選択性が良くなることを示している。ただし、脱出口の数の増加に伴って選択性レンジが変化するかどうかは明らかとならなかった。

2.8 理論的選択曲線の推定

体高1の平均値 (BD_1) と標準偏差 ($_{BD1}$) の甲長に対する回帰直線式は、雌雄別に次のとおり求められた。単位はmmである。

$$\text{(雄)} \quad BD_1 = 0.630/$$

$$_{BD1} = 0.00731/ + 0.377$$

$$\text{(雌)} \quad BD_1 = 0.654/ - 0.952$$

$$_{BD1} = 0.00682/ + 0.278$$

回帰直線から求めた体高1とその標準偏差を用いて推定した脱出口サイズ別の雄に対する理論的選択性曲線 (実線) を、浸漬日数別のマスターカーブから求めた選択性曲線 (破線) とともに Fig. 73 に示した。浸漬日数1日の場合、両者の選択率は甲長が大きい側では近い値を示したが、甲長が小さい側では違いが大きく、50%選択甲長はマスターカーブから推定した選択性曲線 (破線) で明らかに小さかった。一方、浸漬日数2日以上の場合、マスターカーブに基づく選択性曲線は理論的選択性曲線と

Table 46 Fits of the four models to the 1-day soak data of Table 42.

Model	AIC	Rank	One escape-vent		Two escape-vents	
			l_{50}	SR	l_{50}	SR
(1) no constraints	770.5	4	77.4	4.0	78.0	3.9
(2) $a_1=a_2$	768.5	3	77.4	3.9	78.1	4.0
(3) $b_1=b_2$	768.5	2	77.4	3.9	78.1	3.9
(4) $a_1=a_2, b_1=b_2$	766.9	1	77.7	3.9	77.7	3.9

Table 47 Fits of the four models to the 2-day soak data of Table 43.

Model	AIC	Rank	One escape-vent		Two escape-vents	
			l_{50}	SR	l_{50}	SR
(1) no constraints	430.1	3	77.8	2.3	80.9	2.7
(2) $a_1=a_2$	428.1	1	77.9	2.4	80.8	2.5
(3) $b_1=b_2$	428.2	2	77.9	2.4	80.8	2.4
(4) $a_1=a_2, b_1=b_2$	442.1	4	78.8	2.6	78.8	2.6

類似しており、50%選択甲長の違いはわずかであった。ただし、各脱出口サイズに共通して、マスターカーブに基づく選択性曲線では選択性レンジが広く、甲長の大きい側での選択率が理論的に考えられる選択率よりも低いという特徴がみられた。

脱出口サイズ51mmの雄と雌に対する理論的選択性曲線を比較すると、50%選択甲長は雄の80.7mmに対し雌が79.4mmであり、雌に対する選択性の方が悪かった (Fig. 74)。

3. 考察

3.1 ケガニかごにおける脱出口の効果

予備実験、脱出口サイズに関する実験及び脱出口の数に関する実験で得られたデータの解析により、ケガニかごにおいて矩形の脱出口が選択的漁獲に有効であることが明らかになった。漁業現場への脱出口の導入を検討する場合には、すでに導入されている目合規制による選択的漁獲との比較が重要となる。そこで、第2章の「 l_{50} とSRの関係」で述べたように、(2-68)式により網目と脱出口のそれぞれについて、選択性マスターカーブから選択性レンジ (SR) と50%選択甲長 (l_{50}) との関係を経済日数別に求め比較する (Fig. 75)。浸漬日数1日の場合には、50%選択甲長が規制サイズ80mmと一致する時の選

択性レンジは、脱出口 (実線)の方が1.2mm小さく、50%選択甲長が同じであれば、脱出口の方が選択性が鋭いと考えられる。一方、浸漬日数2日以上の場合には、逆に網目 (破線)の方が選択性レンジの値が1.3mm小さく、選択性は鋭いと考えられる。浸漬日数により l_{50} とSRとの関係が異なるため、網目と脱出口のどちらの選択性が鋭いかを結論付けることはできないが、選択性レンジの差は1mm程度と小さいことから、少なくとも脱出口の選択性は網目と同様に鋭いと判断される。また、脱出口には後述するように多くの改善可能な項目があることから、網目よりも優れた選択性を持つ脱出口が開発される可能性は高いと考えられる。

3.2 適切な脱出口のサイズと数

脱出口の形状を矩形とした場合、脱出口による選択性を左右する最も重要な要素は脱出口のサイズと数であると考えられる。

脱出口のサイズに関する実験データの解析では、脱出口サイズ別の選択性曲線とマスターカーブの推定を行った。規制サイズ未満の個体をできる限り逃がし、規制サイズ以上の個体をできる限り逃がさない脱出口サイズが適切であるという考えに立てば、選択性曲線の50%選択甲長が規制サイズに一致することが、脱出口サイズ決定

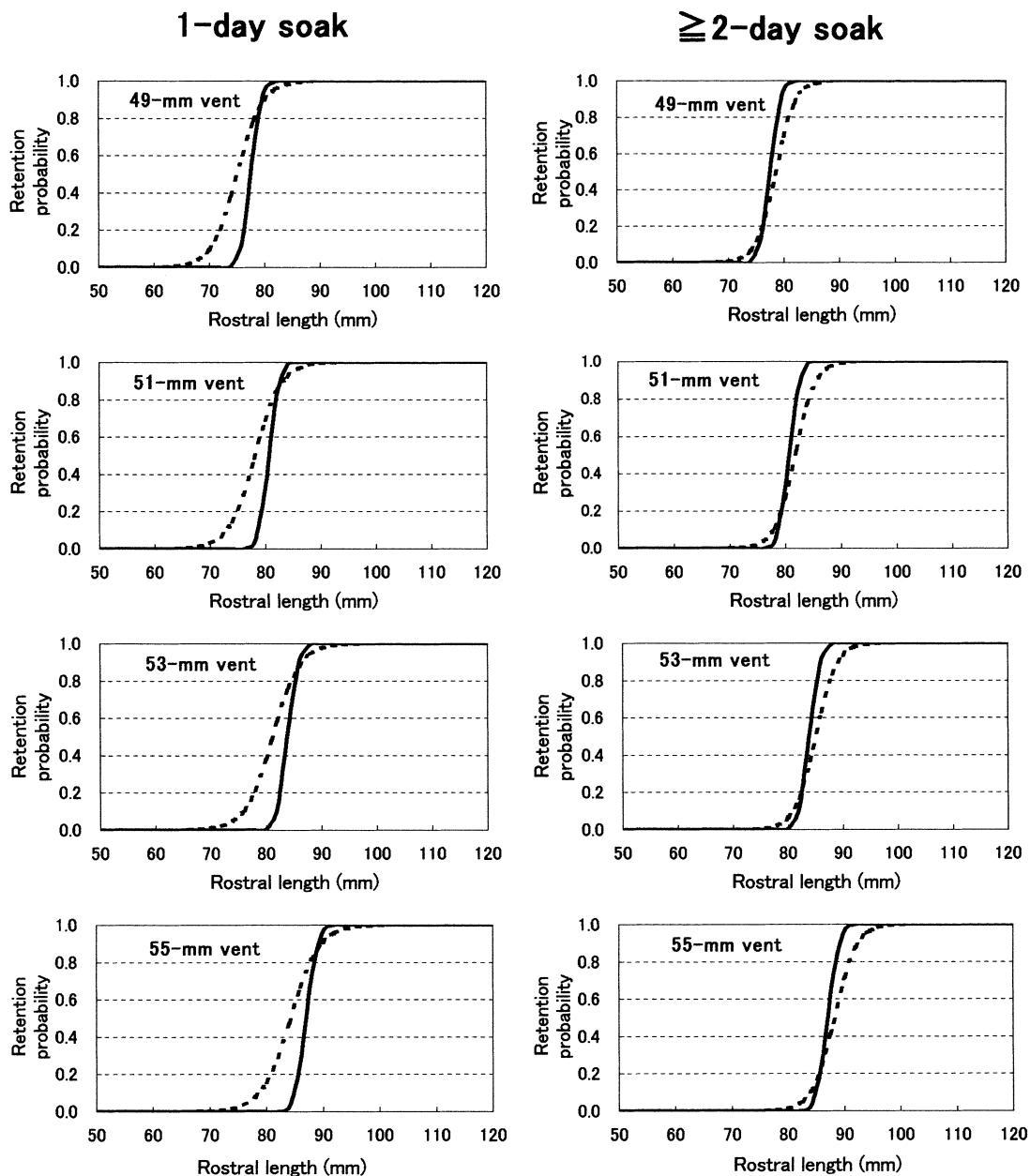


Fig.73 Theoretical size-selectivity curves (solid lines) for each escape-vent size. Size-selectivity curves (dotted lines) for each escape-vent size, obtained from the SELECT method are also shown for comparison.

の一つの基準となる。脱出口サイズ別の選択性曲線では、50%選択甲長が現行の規制サイズである甲長80mmに最も近い脱出口サイズは、浸漬日数1日の場合には $100 \times 53\text{mm}$ であり、浸漬日数2日以上の場合には $100 \times 51\text{mm}$ である (Fig. 54)。しかし、 $100 \times 53\text{mm}$ 脱出口では、浸漬日数2日以上の場合、50%選択甲長が 85.1mm と大きく、水揚げ対象の漁獲が減少する恐れがある。 $100 \times 51\text{mm}$ 脱出口では、浸漬日数1日の場合の50%選択甲長が 78.1mm と推定され80mmに比較的近いことから、規制サイズ未満の漁獲削減にも大きな効果が期待できる。このことから、浸漬日数

1日と2日以上を同等に考慮すると、 $100 \times 51\text{mm}$ が適切なサイズとして選択される。一方、マスターカーブからは、50%選択甲長が規制サイズに一致する脱出口サイズ(高さ)が、浸漬日数1日では 52mm 、浸漬日数2日以上では 50mm と推定され (Fig. 61,66)、浸漬日数により適切と判断される脱出口サイズが異なる。 52mm と 50mm の、どちらかのサイズを選択すると、浸漬日数により、規制サイズ未満の個体をできる限り逃がすことと、規制サイズ以上の個体をできる限り逃がさないことの、どちらかの目標の達成が困難となることが予想される。このため、中間

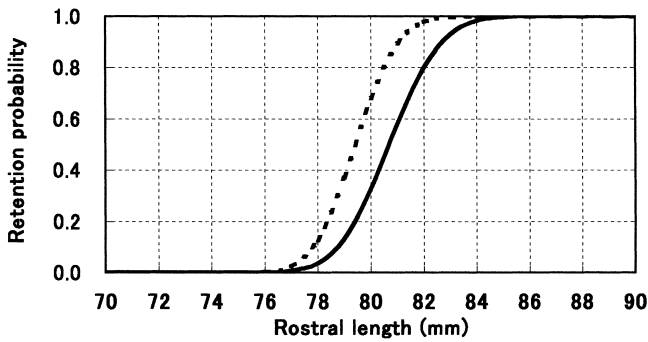


Fig.74 Theoretical size-selectivity curves of 51-mm escape-vent for male (solid line) and female (dotted line) hair crabs.

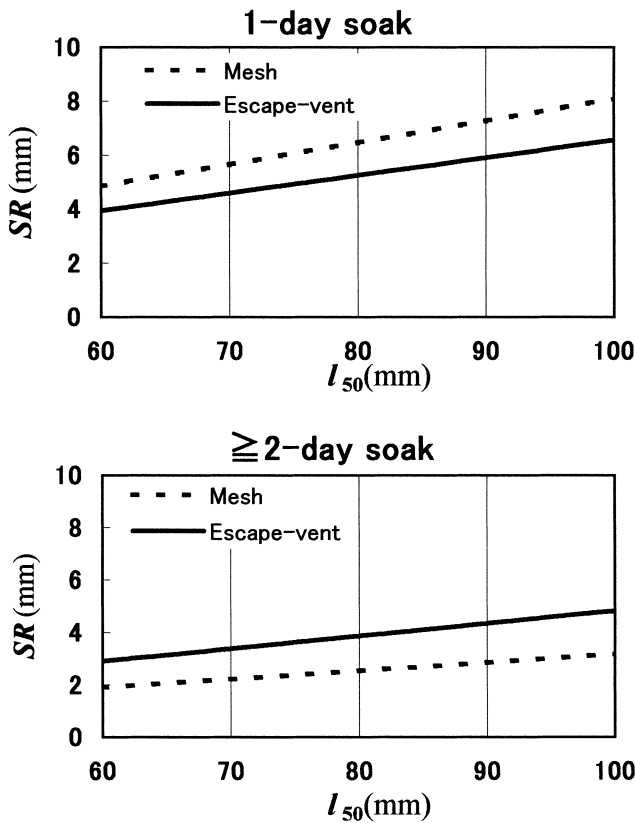


Fig.75 Relationship between the selection range (SR) and the 50% retention rostral length (l_{50}) for both mesh selectivity and escape-vent selectivity in the cases of a 1-day soak and 2-day soak.

のサイズである51mmを選択することが考えられる。マスターカーブから51mm脱出口の50%選択甲長を推定すると、浸漬日数1日では78.1mm（標準誤差：0.9mm）、浸漬日数2日以上では81.8mm（標準誤差：1.0mm）となる（Table 37, 38）。これらの値は規制サイズに比較的近く、規制サ

イズはほぼ両者の中間に当たることから、51mm脱出口を選択することは妥当と考えられる。なお、本研究で求めたマスターカーブは脱出口の高さに関する選択性曲線であるから、実際に脱出口を製作する場合には、脱出口の高さによる選択が十分に機能するように、横幅を十分に大きくする必要がある。現行の規制サイズである甲長80mmの個体に対しては、実験に用いた横幅100mmは選択作用を持たないと考えられるから、適切なサイズといえる。これらのことから、脱出口のサイズとしては、100×51mmが適切と判断される。

脱出口の数については、1個の場合と2個の場合の選択性の比較を行い、浸漬日数1日の場合には脱出口の数の違いによる選択性の違いはみられなかった。しかし、浸漬日数2日以上の場合には脱出口の数が2個の方が選択性は良く、脱出口の数が選択性に影響することが示唆された。上述した適切な脱出口サイズは脱出口の数が2個の場合についてであり、脱出口の数を1個とした場合には選択性が悪くなる危険性がある。

以上のことから、規制サイズである甲長80mm以上のケガニを選択的に漁獲するためには、100×51mmの脱出口を2個取り付けることが適切と考えられる。

3.3 脱出口の長所と短所

Guillory and Hein⁵⁾は、ブルークラブ *Callinectes sapidus* 用のかごに脱出口を導入することによる利点として、合法的なカニのCPUEが増加する、かごの中に監禁しておくことや選別作業による非合法的なカニに対する悪影響を低減できる、非合法的なカニの漁獲減少によって将来の合法的なカニのCPUEが増加する、ゴーストフィッシングによる死亡率を減少できる、選別時間を短縮できる、非合法的なカニの所持の取り締まりを減少させることができる、加工業者への非合法的なカニの供給が少なくなる、の7項目を上げている。これらの利点は、脱出口の利点というよりも選択的漁獲の利点であり、程度の違いはあっても、脱出口と網目による選択に共通している。これらの利点に加え、脱出口に特徴的な利点がいくつかある。

第1に、網目の選択性よりも安定した選択性が得られると考えられる点である。網目の選択性は網地の張り具合や網目の形に影響を受けやすい⁷⁾ため、漁船間がかごの形状が異なる場合、たとえば円錐台形型と半球形型の場合に、選択性が異なる可能性がある。また、網地の伸縮によっても選択性が変化すると考えられる。一方、本研究のように硬い素材を用いて製作した脱出口は、形状や大きさが変化しにくく、選択性も変化しにくいと考えられる。

第2に、網面の移動に対する影響が少ない点である。ベニズワイかごでは、網目を大きくするとカニがかごに登りにくくなるため、逃避が多くなることが指摘されている^{27,30)}。脱出口の場合には、網面の大部分には変化を与えないですむため、カニが登りにくくなることを避けられると考えられる。

第3に、網目に比べ選択性の変更が容易な点である。許容漁獲量制の場合、限られた割当量の中で水揚げ金額を上げようとするため、資源が豊富な場合には過剰な選別が起こられる場合がある。資源の組成や豊度が事前に分かっているならば、その状態にあわせて脱出口のみを交換することにより、かごの選択性を比較的容易に変更できると考えられる。

第4に、ゴーストフィッシング防止の研究が進んでいる点である。多くの研究は、脱出口を組み込んだパネルを腐食性あるいは分解性の素材でかごに取り付け、一定期間が経過すればかごに大きな空隙ができようにして、ゴーストフィッシングの防止を図っている^{7,71,84,90,91)}。ケガニかごについては、ゴーストフィッシングの実態が調べられていないが、オホーツク海だけでも年間135,000個のケガニかごが使用されることを考えると、今後十分に考慮する必要があると考えられる。本研究では、網地と同じ化繊の網糸で脱出口の4辺を網地に取り付けたが、底辺を除く3辺を分解性の網糸などで取り付ければ、かごを流失した場合に一定期間が経過すれば大きな空隙ができ、かごの漁獲機能を喪失させることができるばかりでなく、操業時に脱出口を流失しないですむ。

一方、脱出口の欠点として、小型個体の脱出口からの入りかご、かごの製作コストの上昇が考えられる。小型個体の脱出口からの入りかごについては、本研究における操業実験結果から、大きな問題にはならないと考えられる。ただし、製作コストについては、漁業経営に大きく関わるので、素材の選択などにより低く抑える工夫が必要である。

3.4 ケガニかごにおける脱出口に関する今後の課題

脱出口の選択性を左右する要素として、脱出口の形状、サイズ、数、開口部の総面積、垂直方向の取り付け位置、水平方向の取り付け位置、矩形の脱出口の向き（横長に配置するか縦長に配置するか）、脱出口の素材、餌の量、浸漬時間などが研究されている。本研究では、脱出口の形状を矩形とし、サイズと数及び浸漬時間の影響を調べたが、多くの課題が残されている。

第1に上げられるのが、形状の選択である。ロブスターやブルークラブによる研究では、矩形あるいは正方形の脱出口よりも、円形脱出口 (escape ringあるいはcircular

ventと呼ばれる)の方が有効であるという報告がある^{2,8,80)}。また、円形脱出口は安価な市販の塩ビ管を切断して製作できることから、製作コスト削減の面からも検討すべきと考えられる。ケガニかごの脱出口では、断面の形状にも注意を払う必要がある。Fig.76は脱出口の断面形状が円形の場合と矩形の場合の、脱出口の断面とケガニの甲殻との関係を示したものである。本研究で用いた脱出口のように、断面が円形の場合には甲殻の起伏に比較的うまく一致すると考えられるが、断面が矩形の場合には脱出口と甲殻の間に空間ができる可能性がある。このことは、脱出口サイズが同じでも、断面形状が異なると選択性が異なる可能性を示唆している。比較的厚い塩化ビニール板を加工して脱出口を作る場合などは、注意が必要であると考えられる。

第2に、最適な脱出口の数あるいは横幅の検討が上げられる。アメリカンロブスター *Homarus americanus*はランダムな探索で脱出口を探し出すため、脱出の確率は時間や目標の大きさに関係するといわれる^{5,42)}。Bain¹⁾もザリガニを対象としたかごで、脱出口の総面積が小型個体の脱出に非常に重要であると述べている。また、脱出口の数による選択性の違いを扱った研究では、数が多い方が規制サイズ未満の個体を逃がすのに効果があるとい

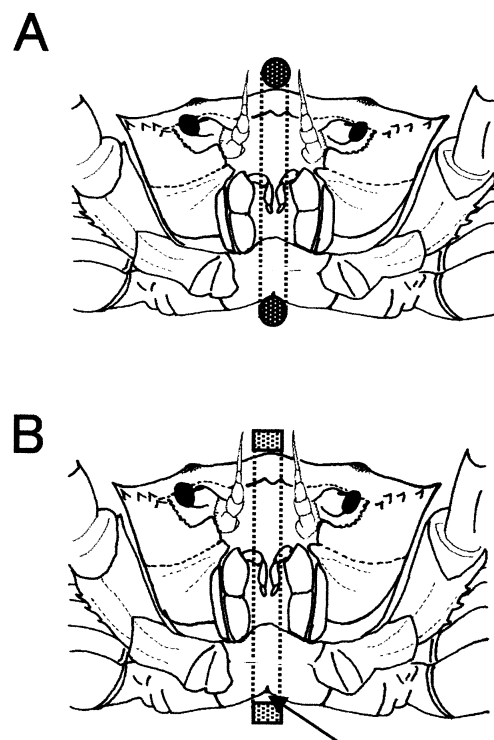


Fig.76 Two types of escape-vents with different shapes of cross-sections. A: Escape-vent with a circular cross-section, B: Escape-vent with a rectangular cross-section. Arrow indicates the space between the carapace and the escape-vent.

う報告が多い^{2,4,5,83,86}。Watanabe and Sasakawa²⁹⁾ はケガニが通過できる間隙の大きさを調べる水槽実験において、間隙を通過できない規制サイズ以上のケガニが、規制サイズ未満の通過を妨害することを観察し、規制サイズ未満のケガニを逃がす目的でケガニかごに間隙を作る場合には、1度に2, 3個体以上のケガニが通過できるように、間隙を十分長くすることを薦めている。本研究では、脱出口の数は1個よりも2個の方が適切と判断されたが、2個が最適かどうかは明らかでない。脱出口の数をさらに増やした場合、あるいは横幅を拡大した場合の効果を確認する必要があると考えられる。

第3に、脱出口の水平方向と垂直方向の位置の検討がある。Bain¹⁾ は側面最下部の対角線上に2カ所の脱出口を持つかごによる実験で、かごの引き揚げ方向に対し脱出口の一つが下方向を向くように枝縄を取り付けることにより、最善の結果を得たと報告している。このことは、かごの引き揚げ時にも脱出口の選択性が作用することを示唆している。本研究では、脱出口を枝縄の取り付け方向と直角な方向に取り付けた。このため、脱出口は引き揚げ方向に対して横を向いており、引き揚げ時に選択性が十分に作用しなかった可能性がある。一方、垂直方向の取り付け位置も対象種によっては重要であり、アメリカでは州毎にブルークラブを漁獲するかごに取り付ける脱出口の位置が決められている⁵⁾。脱出口の垂直方向の位置の重要性は、かごの構造と対象種の行動により決まると考えられ、ケガニかごでは特にかごの底面から脱出口の内側までの距離 (elevationと呼ばれる) が重要であると考えられる。Watanabe and Sasakawa²⁹⁾ は水槽実験により、ケガニが通過できる最小の間隙は甲長の0.82倍と結論している。この関係を用いると、甲長80mmの雄が通過できる最小間隙は約66mmとなる。一方、本研究の結果からは、甲長80mmの雄の多くは、高さ55mmの脱出口でさえ通過できると考えられる。両者の結果は矛盾しているように見えるが、異なる結果が得られた原因は底面から間隙あるいは脱出口までの高さにあると考えられる。すなわち、Watanabe and Sasakawa²⁹⁾ の水槽実験では、水槽底面の直上に間隙を作っており、底から間隙までの距離 (高さ) は0である。一方、本研究では、かごの底から脱出口の内側までの距離 (高さ) は約4cmであった (Fig. 37)。底から間隙あるいは脱出口までの距離 (高さ) が短い場合には、ケガニは低い姿勢で通過しなければならないために動きが制限され、体高よりも大きな間隙を必要とすると考えられる。したがって、ケガニかごにおいて脱出口の選択性を十分機能させるためには、かごの底から適当な高さの場所に脱出口を取り付ける必要があると考えられる。

第4に、漁業現場への適用を検討する段階では、海中での耐久性、長期間使用しても変形しない硬さ、厚さ、太さ、加工コストと取り付けコストなどを勘案して素材と形状を選択することが必要となる。脱出口の素材としては、これまで鉄板、合板、塩化ビニール板、アルミニウム板、ステンレス・スチールなどが用いられている。本研究に用いた100×51mm脱出口付きのケガニかごは、すでに適切な目合を用いたときと同等の選択性を有するといえるが、上述のような課題に関する研究が進めば、選択性が改善されると期待できる。

3.5 理論的選択性曲線とSELECTモデルによる選択性曲線の比較

脱出口の選択性を理論的に求める試みはいくつか行われている^{54,83,85}。脱出口の選択性が対象種の体型の測定データに基づいて理論的に求めれば、経費と時間を費やす野外実験を行わなくてもすむため、非常に経済的である。しかし、ケガニかごの場合には、浸漬時間により選択性が異なるため、ケガニの体型だけでは理論的選択性曲線を推定することはできない。平石⁹²⁾は、かご漁具のような対象生物を誘因する方法では、物理的な選択性のほかに、生物学的な要因も選択性に関わるものとして考える必要があると指摘している。したがって、理論的選択性曲線を求める場合には、浸漬時間の変化に伴う選択性の変化をケガニの行動の面からどのようにモデル化するか大きな課題になると考えられる。

選択性が十分に働いたと考えられる浸漬日数2日以上の場合に限っていえば、実験データから推定した選択性曲線と理論的選択性曲線は、50%選択甲長よりも大きい甲長で若干異なるが、50%選択甲長に近い値を示し、比較的良く一致していた。したがって、推定方法に改善を加えれば、理論的選択性曲線の推定も選択性を推定する有効な方法になり得ると考えられる。特に、新たな形状の脱出口の選択性の予想や、操業実験でデータを得にくい雌に対する選択性を推定する上で役立つと考えられる。

実験データから推定した選択性曲線と理論的選択性曲線の違いは他の種でもみられており、その原因として、測定した部位が脱出口からの通過を決定する部位ではないこと⁸³⁾、操業実験では理論的に容易に通過できる個体がかご内に残留して漁獲されること⁵⁴⁾、操業実験では脱皮後の甲殻の軟らかい個体が、体よりも小さい脱出口を通過してしまうこと⁵⁴⁾が考えられている。これらの点から、本研究で推定した両選択性曲線の違いについて考察する。

1点目に関して、本研究では正中面における体高1 (BD_1) を選択性に関わる体の部位と仮定したが、ケガニ

の甲殻を正面からみると、腹面中央部にくぼみがあり、縦断面における体高は正中面から左右にずれた体高3で最も大きいように思われる(Fig.38)。そこで、1998年の標本を用いて、体高1の甲長に対する回帰と、左右の体高3 (BD_{3L} と BD_{3R})の甲長に対する回帰を比較してみると、雌雄とも体高1よりも体高3の方がわずかに大きいことが分かる(Fig.77)。なお、左右の体高3の回帰直線の傾きと切片には差がみられなかった。したがって、体高1は縦断面における最大体高ではないことが分かり、選択性を決定する部位として体高1を用いたことが適切でなかった可能性がある。ただし、ケガニが脱出口から逃避しようとするときには、通過しやすいように姿勢を変えるであろうから、体高3が選択性を決定する部位と結論づけることは早計と思われる。脱出口の選択性を決

定する体の部位を特定するためには、水槽実験により脱出口を通過するケガニの姿勢等を詳細に観察することが必要と思われる。

2点目の物理的には脱出口を通過できるケガニが、脱出せずにかごに留まることが多少あることは、操業実験の結果からも明らかである。しかし、このことが原因であれば、実験データに基づく選択性曲線と理論的選択曲線との違いは、甲長の小さい部分で大きくなるはずであり、本研究の結果とは異なっている。したがって、ケガニかごの場合には、このことが原因とは考えにくい。

3点目の甲殻の状態が影響した可能性についても、実験実施時期(7~8月)が脱皮時期(3月下旬~4月上旬)から相当な日数を経過しており、測定時に甲殻の軟らかい個体がみられなかったことから考えにくい。

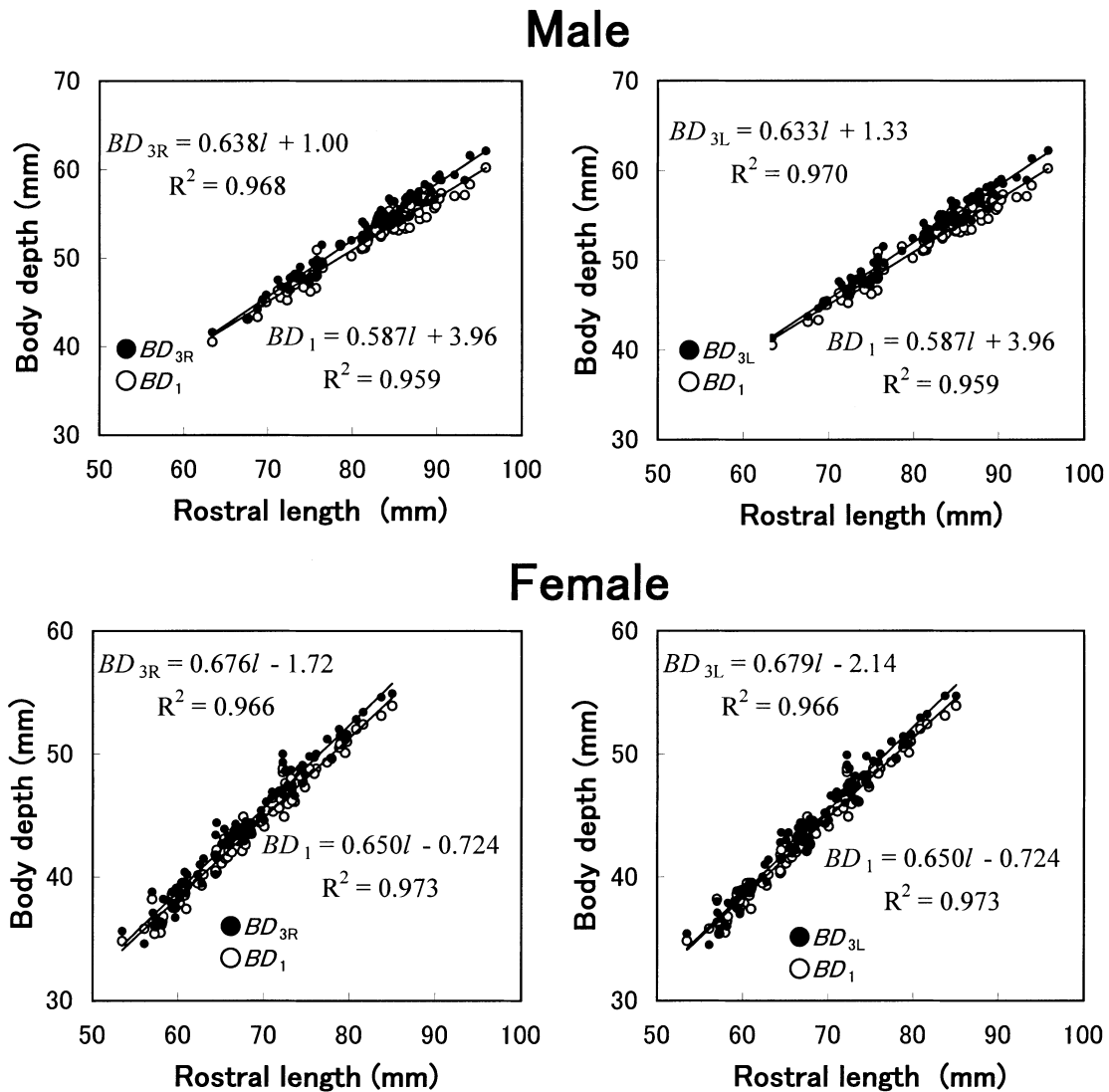


Fig.77 Relationship of BD_1 (open circles) and BD_3 (closed circles) to rostral length (l) for both male and female hair crabs. BD_3 were measured on both right side (BD_{3R}) and left side (BD_{3L}) of the carapace. Definitions of carapace dimensions are shown in Fig.38.

以上のことから、理論的な選択性曲線の改善のためには、選択性を決定する体の部位の特定が重要であると考えられる。また、本研究では脱出口サイズのバラツキを評価しなかったことも、両選択性曲線の違いの原因になった可能性がある。脱出口サイズにバラツキがあった場合には、理論的選択性曲線の選択性レンジはより大きくなるため、両選択性曲線は良く一致する可能性がある。

理論的選択性曲線の推定については、これらの点を踏まえてさらに検討する必要がある。

3.6 SELECTモデルにおける相対漁獲効率とBaranovの仮定

脱出口サイズによる選択性の解析において、浸漬日数1日の場合に脱出口の有無あるいは脱出口サイズの違いによる相対漁獲効率の違いはみられなかった。しかし、浸漬日数2日以上の場合、相対漁獲効率は脱出口を付けたかごの方が高く、かつ脱出口サイズが大きいほど高い傾向がみられたことから、脱出口についても相対漁獲効率は浸漬時間により異なることが示唆される。脱出口に関する研究では、脱出口を取り付けることにより漁獲効

率が高くなるという報告が多い^{5,42,52,71,86}。しかし、Treble et al.⁵⁴はロブスターを対象とした操業実験結果をSELECTモデルにより解析し、脱出口が漁獲効率を増大させることはない結論した。彼らの解析では、浸漬日数が1日より長いデータを削除し、解析に用いるデータの操業条件の統一を図っている点が注目される。本研究においても、浸漬日数1日の場合に限ってみると、脱出口は相対漁獲効率を増大させないと結論される。したがって、選択性が異なる場合の漁獲効率の評価には、浸漬時間などの操業条件を十分に考慮する必要があると考えられる。

一方、Baranovの仮定については、網目選択性の解析とは異なる結果が得られた。すなわち、マスターカーブの推定において、浸漬日数に関わらずBaranovの仮定に基づくモデルが選択された。その理由として、脱出口の選択性の解析では、脱出口の高さが分離部位の大きさそのものであることと、脱出に関わる体の部位が体高1や体高2のように甲長と比例関係にあることが考えられる。

SELECTモデルは脱出口の選択性の解析においても、このような仮定を検証しつつ選択性を評価できることから、従来の解析手法に比べ優れているといえる。

第5章 総合考察

1. ケガニかごの漁獲選択性解析における新たな解析手法の有効性と課題

これまで、比較操業実験に基づくカニかごやエビかごの漁獲選択性の解析には、非選択な対照かごに対する実験かごの甲長階級別の相対的効率（漁獲比）や、石田の方法により推定された選択性曲線が用いられてきた。これらの方法では、実験に使用した各かごの漁獲効率（選択性は含まない）が等しいという仮定と、Baranovの仮定が用いられるが、それらの仮定の妥当性が確かめられないことが大きな問題であった。これに対し本研究では、SELECTモデルとマスターカーブ法を組み合わせた新たな解析手法を用いることにより、両仮定の妥当性の評価と選択性曲線の推定を同時に行うことを可能にした。その結果、ケガニかごの漁獲選択性の解析では、上述の2つの仮定が必ずしも適切でないことが明らかになった。さらに、SELECTモデルでは従来の解析法と異なり、標本数が非常に少ない場合を除き、偏りがほとんどない推定値が得られることが、シミュレーションにより確かめ

られている¹⁰。これらのことから、本研究で用いた新たな解析手法は、ケガニかごの漁獲選択性解析に有効な方法であると結論できる。そこで、従来法の解析結果との違いを具体的に検討する。本研究では選択性曲線にLogistic曲線を適用し、適合度検定や残差分析から、データに対する当てはまりは比較的良いと判断された。これに対し、小池・小倉²⁸は石田の方法によりベニズワイかごの網目選択性曲線を推定し、その特徴はある甲幅長で最高の漁獲比を示し、それ以上の甲幅長になると漁獲比が低下する傾向を示す点にあると述べており、選択性曲線の形状はLogistic曲線と異なる。ケガニかごの場合にも石田の方法を用いて網目選択性曲線を推定すると、同様の傾向がみられる。この原因について検討する。ケガニかごでは浸漬時間が長い場合に、目合が大きいほど相対漁獲効率が高くなる傾向がみられた。このことはいずれの目合でも選択性が働かないような大きな甲長階級では、目合が大きいほど漁獲尾数が多いという傾向が現れることを意味している。石田の方法ではBaranovの仮定を用いて、