混獲防御装置 (SURF-BRD) 付トロールの 魚種分離とサイズ分離

梶川 和武, 藤石 昭生, 永松 公明, 東海 正, 松田 峻

(1998 年 7 月 7 日受付)

Species- and Size-selectivity of SURF-BRD Trawl

Yoritake Kajikawa,^{*1} Akio Fujiishi,^{*2} Kimiaki Nagamatsu,^{*2}
Tadashi Tokai,^{*1} and Ko Matuda^{*1}

This study describes species- and size-selectivity of SURF (System of Unwants Ramp-way Filter)-BRD, which was developed to avoid by-catch of juvenile fishes smaller than marketable size and small crabs of no-commercial value in a shrimp beam trawl. The SURF-BRD comprised of two square-mesh panels (FP, front panel and RP, rear one of 40 mm mesh bar) and two escape-vents, and was installed on the bottom part of the net-mouth. Eleven tows with escape-vent cover-nets for catching escapees from the vent were conducted under three panel conditions: 5 tows with the FP and RP; at 4 tows, rear cover (RC) of the same mesh size as the codend was attached over the RP to avoid animals passing through the RP; 2 tows without the FP to examine the role of FP on selectivity of the device. The results of proportions caught in the codend to the total by species and by animal size indicated three routes of the animals to the codend: 1) swimming above the BRD without encountering the FP; 2) encountering the FP once and retained by it; and 3) passing through the FP and also through the RP. The RP needs to have enough small mesh like the RC, to lead animals out of the net through the escape-vent after passing through the FP. The SURF-BRD allowed some juvenile fishes and small crabs to escape from the net, while catching small shrimp of the main target species at night.

キーワード：小型底曳網，混獲防御，分離漁獲，選択性

現在，世界の各地で，小型魚を保護することや希少動物の混獲を防ぐことを目的として，トロール網内において漁獲物を種や魚体の大きさによって分離する装置 (Bycatch reduction device, BRD) が多数開発されている (例えば，TED，¹⁾ 角目網，²⁾ Nordmøre grid，³⁾ Sort-X⁴⁾ など)。しかし，これらの分離装置では，魚種をコードエンド付近で分離するために，そこに到る網内で漁獲物が相互に或いは網と接触することで魚体に傷が付く，逃避後の生残率が低下する可能性が指摘されている。⁵⁾ そこで，著者らは円滑な分離を行うためには，漁獲物がコードエンドに到達する過程の中で，かなり早い段階に，また，広い空間を確保できる漁具部位で分離を行う必要があると考え，網口付近で分離する構造の装置を開発することにした。沿岸域における主要漁業の 1

つである小型底曳網「手繰第 2 種漁業」の混獲防御装置の開発に着手し，その第一段階として一階部分の網口をポリエチレン製の角目網地で覆った二階式網を試作した。操業実験の結果⁶⁾ から，二階式網の一階部分のコードエンドを開放して操業すれば，市場価値がなく船上選別の障害となる小型カニ類の約 8 割を逃避させることができるかと推測される。一方，主漁獲対象種である小型エビ類や有用種であって，大型個体の漁獲の減少がほとんどないと推察される。しかし，二階式網には次の 2 つの問題点が残った。まず，ひとつは二階式網では構造が複雑であるために操業時の扱いや破網した際の修理が困難であり，このことが漁業者への普及の障害となる可能性がある。もうひとつは二階式網の一階部分のコードエンドを開放して魚を逃がす場合では，上述した他の分

^{*1} 東京水産大学海洋生産学科 (Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan).

^{*2} 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University, Nagatamonmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan).

離装置同様に網内で漁獲物が相互に、或いは網と接触することで、網口からコッドエンドに到達する間に逃避魚の魚体が傷つけられる可能性がある。

そこで、本研究では、これらの欠点を改善するために、二階式網での成果をふまえて、より単純な構造であり、かつ網口付近で分離した生物をできるだけ早く網外に排除する装置 SURF-BRD (System of Unwants Ramp-way Filtered By-catch Reduction Device) を考案した。この SURF-BRD を装着した試作網を用いて操業実験を実施して、得られた漁獲資料から本装置のサイズ選択機能を把握する。また、魚種の遊泳特性を考慮に入れて、魚種別の分離機構を考案し、本装置の魚種分離機能を明らかにする。

材料と方法

SURF-BRD 試作網の設計と構造 SURF-BRD は山型に組み合わせられた 2 枚の角目網地と逃避口から成り、網口下部に設置される。SURF-BRD を装着した試作網の設計図を Fig. 1 に示し、その概略を Fig. 2 に示す。この網の網口及び本体の規模は前報⁶⁾の二階式網と差がなく、主要な各部の目合も同じである。しかし、本漁具には二階式網にみられた中仕切り網がなく、これに代り、SURF-BRD が取り付けられている。ここでは 2 枚の角目網のうち、網口に面した前面をフロントパネル、

後面をリヤパネルと呼ぶ（両パネルとも脚長 40 mm）。さらに、フロントパネルを通過した魚の逃避口として、フロントパネルとリヤパネルが形成する身網両側の三角形の開口部分を確保した構造とした。また、両パネルで形成される「山型」の稜線の両端部は筋網に結び付けられている (Fig. 2)。このような構造にすることで、漁獲物がコッドエンドに到達する過程で、かなり早い時期に、かつ、広い空間を確保できる網口で分離を行う二階式網の特徴を維持し、更に、分離した後、できるだけ早い時期に小型魚を網外に逃避させることができる。このため、本装置では二階式網よりも魚体を傷つける機会が少なくなり、逃避後の生残率が高くなることが期待される。⁵⁾ また、フロントパネルを通過した小型個体がリヤパネルも通過して、コッドエンドで漁獲されることを防止するために、コッドエンドと同じ目合のリヤカバー（菱目目合 27.5 mm）でリヤパネルを覆った。このリヤカバーの装着では、まずリヤパネルとリヤカバーの周囲を縫い合わせ、さらに、これら 2 枚のパネルの間に空間が生じないように、約 20 cm 間隔をとった 30 箇所ほどで、互いの結節を結び付けた。なお、リヤカバーを装着した場合は、実用化段階においてはコッドエンドと同じ目合のリヤパネルを用いた場合を表している。本研究ではこの構造を実用化段階での基本型と考えている。ここで、リヤパネルの網目を小さくした場合の効果調べ

Fig. 1. SURF-BRD trawl net designed to separate marketable fish from non-commercial fish.
Note: SURF-BRD, System of Unwants Ramp-way Filtered By-catch Reduction Device.

Fig. 2. SURF-BRD mounted in a shrimp beam trawl.

るためには、曳網実験においてリヤパネルの目合を大きくした場合と比較する必要がある。したがって、本研究では双方のパネル構成を船上でスムーズに設定できるように、リヤカバーを用意した。

二階式網では一階と二階の間に取り付けの中仕切り網の高さが分離の効果に影響を及ぼした。^{7,8)} このことから、本装置で確実な分離を行うためには曳網中のSURF-BRDの高さ（以後、BRD高さと略称）を一定に保持させる必要がある。そこで、BRD高さを一定に保持させる手段の一つとして、本漁具のブライドル構成には3本ブライドル方式を採用し、中央ブライドルにより脇網中央部に取り付けられた筋網にワープ張力の一部を伝えている（Fig. 2）。なお、Fig. 2ではフロントパネルを通過して逃避口から逃げた個体を回収するために、袋網（サイドポケット）がそれぞれの逃避口に取り付けられている。このサイドポケットは調査用の付属具であり、実用上は使用しない。

操業実験 1996年7月1日と2日の昼夜2日間に、小型底曳網漁船第三海幸丸（2.9 t）を傭船して操業実験を実施した。操業海域は下関市西沖（北緯 34°03′～05′，東経 130°50′～51′）であり、その水深は20～30 mの範囲内であった。当海域は1995年に実施した二階式網の実験海域⁶⁾とほぼ同じ位置にあり、本漁船が通常操業している海域でもある。実験条件の概要をTable 1に示した。本実験ではSURF-BRDのパネルの構成を3つの条件（基本構成であるフロントパネル＋リヤパネル＋リヤカバー、リヤカバーの効果を調べるためのフロントパネル＋リヤパネル、さらにフロントパネルの効果を調べるためのリヤパネルのみ）に変えて、それぞれ4

回、5回、2回の合計11回の曳網を実施した。

前述したように、二階式網の分離効果は中仕切り網の高さに影響されることが分かっている。^{7,8)} したがって、本試作網でも、曳網中の網口高さ及びBRD高さはSURF-BRDの分離効果に影響を及ぼす要因の一つと考えられる。そこで、本研究では曳網中のBRD高さ及び網口高さを次の方法で計測した。(株)アレック電子製メモリー式深度計（分解能±4 cm，型式MDS-TD）をヘッドロープ、フロントパネル上端、グランドロープの中央部の3カ所に設置し、曳網中の深度記録を1分間隔で同時に記録して、それぞれの深度差から、網口高さとBRD高さを求めた。また、これらの両部位の高さは曳網速度により変化すること^{7,9)}から、曳網速度を計測するために、船上から木片を海上に投棄して、この木片が一定区間を流れる時間を測定し、船の対水速度を求める流木試験を1回の曳網につき、3回実施した。そして、この3回の計測における平均値を各曳網の曳網速度とした。

漁獲物の測定 海上実験における11回の曳網で、各曳網回ごとに全ての漁獲物を漁獲部位別（コッドエンド及びサイドポケット）に分けて研究室に持ち帰り、冷凍保存した。冷凍保存した漁獲物は後日解凍し、魚種別に分けてそれぞれの尾数を調べた後に、曳網毎に魚種別の重量を測定した。漁獲尾数が50尾を超えた場合には無作為に抽出した標本50尾を、漁獲尾数が50尾以下の場合には全ての魚体の体長と体重を計測した。体長の測定部位として、魚類では全長、尾叉長、肛門前長のいずれかを、また、エビ類では頭胸甲長、カニ類では甲幅または甲高を採用した。イカ類では外套背長及び体重を測

定した。

分離率 得られた資料から本装置の分離結果を表わすために、昼夜別、パネルの構成別、魚種別にコッドエンドとサイドポケットでの全漁獲尾数に対する各部位での漁獲尾数の割合を百分率で求めて、これをコッドエンド及びサイドポケットの各部位における分離率と定義した。特に、コッドエンドでの漁獲尾数の割合をコッドエンド分離率と呼ぶ。なお、SURF-BRD は網口の下側に位置するので、入網したすべての個体がフロントパネルに遭遇するとは限らない。つまり、コッドエンドで漁獲された個体にはフロントパネルを通過しなかったものだけでなく、フロントパネルよりも高い位置を遊泳した個体や、フロントパネルを通過して、さらにリヤパネルやリヤカバーを通過した個体も含まれる。したがって、ここでのコッドエンド分離率は、フロントパネルの網目選択性のみを表したものでなく、フロントパネルに遭遇するかどうかや、リヤパネルおよびリヤカバーの網目選択性の効果をも含んでいる。

結果と考察

SURF-BRD と網口高さ BRD 高さが二階式網の一階部分と同じ高さの約 1 m に保持できれば、SURF-BRD は二階式網と同様な分離効果が期待される。⁶⁻⁸⁾ パネルの構成条件別に一例ずつ曳網中の SURF-BRD と網口の高さを経時的に示した (Fig. 3)。曳網中の網口高さは約 2.5 m であり、BRD 高さは約 0.5 m である。これらの値は、時間が経過するにしたがって、同じように低下する傾向を示した。しかし、Fig. 3 の例で、両部位の高さは、パネルの構成の違いにより異なり、フロントパネルがない場合で最も高く、以降、フロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの場合、フロントパネルとリヤパネルの場合の順に低くなった。実験中の各曳網で得られた両部位 (網口高さと BRD 高さ) の曳網中の平均

高さを Table 1 に示す。これによれば、Fig. 3 に示した例のように、フロントパネルがない場合の両部位の高さは他の場合に比べ大きい。しかし、フロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの場合とフロントパネルとリヤパネルの場合では各条件内における両部位の高さは 10~20 cm 程度の変動があるために、両条件間における両部位の高さの差は明らかでない。そこで、リヤカバーの有無によって両部位の高さに差がないとする帰無仮説を立てて、 t 検定を行ったが、両部位ともに有意水準 5% で帰無仮説を棄却できなかった (網口高さ $t=0.1068$, BRD 高さ $t=0.8075$, $\phi=7$, $p>0.05$)。したがって、リヤカバーの有無による両部位の網口高さには差がないと考えられる。

ここで、フロントパネルがない場合に両部位が高くなった原因として、次のことが考えられる。Fig. 2 に示したようにフロントパネルは曳網方向に対して、海底面から鈍角に取り付けられている。このため、曳網中に網内に生じる水流によってフロントパネルに下向きの揚力が働くと考えられる。フロントパネルがない場合は海底面から曳網方向に対して鋭角に取り付けられているリヤパネルに対して直接に水流が当たり、上向きの揚力が働くと考えられる。この結果、フロントパネルなしの場合で BRD 高さが大きな値を示したと考えられる。

魚種別の分離結果 操業実験で得られた漁獲物の概要は、魚類 62 種で 77.7 kg, 甲殻類 33 種で 97.2 kg, 頭足類 6 種で 21.0 kg, その他 4 種で 0.7 kg の合計 196.6 kg であった (Table 2)。上記の漁獲物の中から漁獲尾数が多かった魚類 6 種と、甲殻類 5 種、頭足類 1 種を取り上げて、これらの種における両部位の分離率を昼夜別に求めた (Fig. 4)。まず、夜間操業時の各魚種の分離率を検討する。魚類 6 種のうち、カナガシラ *Lepidotrigla microptera*, オキヒイラギ *Leiognathus rivulatus*, エソ類 *Saurida* spp., テンジクダイ *Apogon*

Fig. 3. Height-time sequential records of the net mouth and SURF-BRD during towing.

Table 1. Outline of experimental hauls by the beam trawl with SURF-BRD

Haul no.	Panel condition*	Date	Day or Night	Towing time	Average of towing speed (Knot)	Height (m)	
						Net mouth	SURF-BRD
1	FP+RP+RC	1/July 1996	Day time	15:33~16:28	2.2	2.41	0.45
2				16:50~17:43	2.1	2.53	0.35
3			Night time	18:04~19:03	1.9	2.51	0.45
4				19:51~20:41	1.7	2.38	0.35
5	FP+RP	2/July 1996	Night time	21:45~22:44	1.7	2.30	0.30
6				23:07~24:05	2.1	2.42	0.40
7			Day time	16:30~17:37	2.3	2.54	0.47
8				17:50~18:50	1.2	2.39	0.30
9	RP		Night time	19:45~20:44	1.8	2.27	0.35
10			Night time	21:14~22:14	1.7	2.60	0.52
11				23:30~23:29	1.8	2.58	0.57

* FP, Front panel; RP, Rear panel; RC, Rear cover.

Table 2. Catch number and weight in the fishing experiment

Panel condition*	Number of tows	Bag	Fish		Crustacean		Molluscan		Others		Total	
			Weight (kg)	Number	Weight (kg)	Number	Weight (kg)	Number	Weight (kg)	Number	Weight (kg)	Number
EP+RP+RC	4	Cod end	26.13	1663	8.93	2557	7.83	301	0	0	42.89	4521
		Side pocket	1.23	129	5.10	1189	0.03	2	0.01	2	6.37	1322
FP+RP	5	Cod end	41.17	2026	33.46	8459	7.54	176	0.26	14	82.43	10675
		Side pocket	1.66	211	14.29	3683	1.22	4	0.24	15	17.41	3913
RP	2	Cod end	5.65	384	20.71	6129	0.43	13	0	0	26.79	6526
		Side posket	1.86	173	13.92	2877	3.88	23	0.13	7	19.79	3080
Total	11		77.70	4586	96.40	24894	20.93	519	0.65	38	195.68	30037

* FP, Front panel; RP, Rear panel; RC, Rear cover.

lineatus の 4 種の分離率はパネルの構成により若干の変動はあるものの, ほとんどの個体がコッドエンドで漁獲された。一方, 異体類のガンゾウビラメ *Pseudorhombus cinnamomeus* やアカシタビラメ *Cynoglossus joyneri* の 2 種は前述の 4 種に比べて, コッドエンド分離率が低い。また, 各パネルの構成に対して両種のコッドエンド分離率も異なり, フロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの場合が最も高く (ガンゾウビラメで 78%, アカシタビラメで 69%), 以下, フロントパネルとリヤパネル, リヤパネルのみの順に 10~20% ずつコッドエンド分離率が低下した。甲殻類をみると, 主漁獲対象種である小型エビ類のトラエビ *Metapenaeopsis acclivis* とアカエビ *Metapenaeopsis barbata* は両種ともにパネルの構成に関係なく, 90% 以上がコッドエンドで

漁獲された。これに対して, 投棄対象種である小型カニ類のヒメガザミ *Portunus hastatoides* とフタホシイシガニ *Charybdis bimaculata*, ヒロハイシガニ *Charybdis truncata* の 3 種は, フロントパネルとリヤパネルの場合のヒメガザミを除いて, すべて 50% 以上がサイドポケットで漁獲された。また, パネルの構成別に見ると, フロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの場合, コッドエンド分離率は, ヒメガザミで 50%, フタホシイシガニで 32%, ヒロハイシガニで 27% を示した。これに対し, リヤカバーがないフロントパネルとリヤパネルの場合, コッドエンド分離率は, ヒメガザミで 62%, フタホシイシガニで 50%, ヒロハイシガニで 43% と前条件に比べ増加傾向を示した。軟体動物のコウイカ *Sepia esculenta* ではフロントパネルが取り付けられている場

Fig. 4. Separation ratio of SURF-BRD by species and panel conditions.

合、リヤカバーの有無に関わらず、すべての個体がコッドエンドで漁獲された。しかし、フロントパネルを取り外した場合、80%の個体がサイドポケットに逃避した。ただし、本種は他種に比べて漁獲尾数が少ないため、分離率の精度が悪い。

次に、昼間操業時における各魚種の分離率を検討する (Fig. 4)。なお、昼間の場合ではフロントパネルを取り外した実験を行っていないため、この場合の分離率は求めている。カナガシラ、エソ、オキヒイラギ、テンジクダイでは夜間の分離率と同じ傾向を示し、ほとんどの個体がコッドエンドで漁獲された。しかし、アカシタビラメ、ガンゾウビラメでは夜間に比べてサイドポケットに逃避する割合が増加し、フロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの場合のコッドエンド分離率はガンゾウビラメで17%、アカシタビラメで38%であった。また、トラエビ、アカエビやヒメガザミ、フタホシイシガニ、ヒロハシガニでも、異体類と同様に夜間に比べてサイドポケットに逃避する割合が増加し、フロントパネルと

リヤパネルとリヤカバーの場合のコッドエンド分離率はトラエビとアカエビでそれぞれ79%と38%、また、ヒメガザミ、フタホシイシガニ、ヒロハシガニではそれぞれ33%、19%、7%を示した。

Fig. 4に示した分離率は昼夜及び各パネルの構成間で漁獲尾数に差があるためにその精度が異なり、それぞれの条件間における差を正確に表しているとは限らない。そこで、それぞれの条件間の差を明確にするために、まず昼夜における各魚種の分離率に差がないとの帰無仮説を立てて、 χ^2 検定を行った。その結果、カバー付き (FR+RP+RC) 及びカバーなし (FP+RP) の双方で、帰無仮説が有意水準5%で棄却された魚種はアカエビ (カバー付き $\chi^2=681.56$, $\phi=2$, カバーなし $\chi^2=30.983$, $\phi=2$, $p<0.05$), トラエビ (カバー付き $\chi^2=58.97$, カバーなし $\chi^2=147.171$, $\phi=2$, $p<0.05$), フタホシイシガニ (カバー付き $\chi^2=8.338$, カバーなし $\chi^2=23.933$, $\phi=2$, $p<0.05$), ヒメガザミ (カバー付き $\chi^2=5.913$, カバーなし $\chi^2=5.913$, $\phi=2$, $p<0.05$) の4種で

あった。また、ガンゾウビラメではカバー付きの場合のみで帰無仮説が棄却された（カバー付き $\chi^2=30.983$, $\phi=2$, $p<0.05$ ）。一方、ヒロハイシガニで帰無仮説を棄却できなかったのは（カバー付き $\chi^2=2.397$, カバーなし $\chi^2=2.324$, $\phi=2$, $p>0.05$ ），漁獲尾数が少なかったためと考えられる。以上の結果から，小型エビ類と小型カニ類及びガンゾウビラメの分離率は昼夜で有意な差が認められた。次に，それぞれの魚種内で，3種類のパネルの構成に対して求めた分離率に差がないとの帰無仮説を立て， χ^2 検定を行った。その結果，夜間の場合，テンジクダイ（ $\chi^2=29.9308$, $\phi=2$, $p<0.05$ ），ガンゾウビラメ（ $\chi^2=64.0555$, $\phi=2$, $p<0.05$ ），アカエビ（ $\chi^2=29.9193$, $\phi=2$, $p<0.05$ ），ヒメガザミ（ $\chi^2=7.8042$, $\phi=2$, $p<0.05$ ），フタホシシガニ（ $\chi^2=72.9336$, $\phi=2$, $p<0.05$ ），コウイカ（ $\chi^2=18.0435$, $\phi=2$, $p<0.05$ ）の6種で有意な差が認められた。さらに，これら6種について，リヤカバーの有無による分離率の差を検定した。その結果，ガンゾウビラメ（ $\chi^2=7.9329$, $\phi=1$, $p<0.05$ ）とフタホシシガニ（ $\chi^2=80.8721$, $\phi=1$, $p<0.05$ ），トラエビ（ $\chi^2=5.1651$, $\phi=1$, $p<0.05$ ）ではリヤカバーの有無により分離率に有意な差が認められた。一方，トラエビと形態が似ているアカエビ¹⁰⁾ではリヤカバーの有

無によって分離率に有意な差が認められなかった（ $\chi^2=2.7443$, $\phi=1$, $p>0.05$ ）。また，昼間の曳網時にフロントパネルとリヤパネル，リヤカバーの場合のコッドエンド分離率はトラエビとアカエビでそれぞれ79%と38%と差が生じた。これらの両種間に分離率の差が生じる理由として，潜砂能力が異なる¹¹⁾など行動の違いによる可能性が考えられる。

体長別のコッドエンド分離率 上述した分離率は，二階式網の実験の結果と同様に，フロントパネルの網目の大きさによって変化するものと考えられる。⁶⁾ また，いくつかの魚種でリヤカバーの有無によって分離率が異なったこと（Fig. 4）からも，フロントパネルのみならず，リヤパネルやリヤカバーもサイズ選択性を有した可能性がある。このことは本装置の分離機構の解明には，各魚種毎に体長別のコッドエンド分離率を検討する必要があることを示している。そこで，分離効果を表す指標として，網目の選択曲線の表示法に習い，横軸に体長をとり，縦軸にコッドエンド分離率を示した（Fig. 5）。Fig. 4 で分離率を示した魚種の中から，魚類については漁獲尾数が多く，比較的市場価値があるとされる¹²⁾エソ類とガンゾウビラメを，また，甲殻類では主要漁獲対象種のアカエビ，投棄対象種のフタホシシガニ，頭足

Fig. 5. Plots of separation ratio against body size.

類については高価格種のコウイカを取り上げた。このうち、前項において、 χ^2 検定で昼夜の分離率に差が認められたガンゾウビラメ、アカエビ、フタホシイシガニでは昼夜別にコードエンド分離率を求めた。これを基にして魚種毎にパネル構成別のコードエンド分離率の違いを比較し、それぞれの魚種毎に体長別の分離機構を検討する。

エソ類ではパネルの構成や魚体の大きさに関係なく、ほとんどの個体がコードエンドで漁獲された (Fig. 5)。フロントパネル、リヤパネル及びリヤカバーの場合を見ると、この尾叉長 200 mm のエソ類は Fujiishi¹³⁾ による網目選択性の理論曲線から考えると、フロントパネルは通過できても、リヤカバーを通過できない。このことから、エソ類の遊泳層はフロントパネルよりも高いことが推測される。一方、コウイカではフロントパネルが取り付けられている場合、すべての個体がコードエンドで漁獲されたのに対して、リヤパネルのみの場合では、コードエンド分離率が 17% に低下して、ほとんどがサイドポケットに入った。したがって、本装置のパネル構成が基本型のフロントパネルとリヤパネルとリヤカバーの時、コウイカのほとんどはフロントパネルに一度遭遇するもののそこを抜けることなく、コードエンドで漁獲されたと考えられる。アカエビも夜間の場合では、フロントパネルの網目 (脚長 40 mm) に比べて十分に小さい個体 (頭胸甲長 20 mm 以下) でも、パネルを通過することなくコードエンドで漁獲された。これに対して、昼間では同様な頭胸甲長範囲内の個体のコードエンド分離率は、夜間に比べて低く、頭胸甲長が大きくなるにつれて高くなる傾向を示した。これは昼夜において、これらの種の行動に違いがあることによると考えられる。通常、小型エビ類は夜間に活動的で、昼間は潜砂している。^{11,14-16)} つまり、活動的な夜ではほとんどの個体がグランドロープやフロントパネルに接触して跳ね上がり、¹⁷⁻¹⁹⁾ フロントパネルを越えてコードエンドで漁獲されたと考えられる。一方、昼間では潜砂して活動が低下するために SURF-BRD を越えることなく、フロントパネルに遭遇した結果、より小型の個体が多くフロントパネルを抜けて、逃避したのと考えられる。また、昼間の場合、頭胸甲長 10 mm~20 mm の小型個体のコードエンド分離率はリヤカバーがある場合に比べて、ない場合の方が高い。これはリヤカバーがない場合に、フロントパネルを通過した小型個体がフロントパネルと同じ目合のリヤパネルも通過してコードエンドで漁獲されたと考えられる。これに対して、より小さな網目のリヤカバーがある場合では、小型個体がリヤカバーを通過できずに、逃避口からサイドポケットに入ったものと考えられる。ガンゾウビラメのコードエンド分離率は、全長の

大きさに対して U 字型に並んだ (Fig. 5)。夜間の場合、全長 50 mm 付近のコードエンド分離率が高い値を示し、魚体が大きくなるにしたがって、コードエンド分離率はいったん低下し、80~100 mm 付近で最も低い値になった。それ以降、魚体が 100 mm 以上になると、コードエンド分離率が再び増加した。また、フロントパネルを取り外したリヤパネルのみの場合のコードエンド分離率は 10~40% の間で U 字型を描いて分布しており、他の場合に比べて低い。この原因はフロントパネルを取り外した場合の BRD 高さは取り付けた場合に比べて約 4 割増加することから、リヤパネルに遭遇する確率が高くなり、サイドポケットへ逃避する個体が増加した可能性が考えられる。一方、コードエンド分離率が U 字型を描いた原因は魚体の大きさによって遊泳層が異なる、或は、魚体が大きくなれば遊泳力が増すために、リヤパネルを回避してコードエンドで漁獲されるなどが推察される。一方、昼間のコードエンド分離率は夜間に比べて低かった。これは本種の昼夜の行動に差がある²⁰⁾ ことによる影響であろう。ここで、コードエンド分離率が U 字型を描いた原因について考察する。東海ら²¹⁾ は、リヤカバーと同じ目合 (27.5 mm) の菱目網コードエンドのタマガンゾウビラメ *Pseudorhombus pentophthalmus* に対する網目選択曲線を求めた。これによれば、この種の異体類では 25% 選択体長は 48.3 mm, 75% 選択体長は 86.3 mm となる。したがって、本装置では全長 50 mm の小型個体の半数以上がフロントパネル (脚長 40 mm) を通過した後、リヤパネル (脚長 40 mm) 及びリヤカバー (目合 27.5 mm) も通過して、コードエンドで漁獲されたものと推察される。全長が 80 mm になると、フロントパネルは通過するものの、リヤパネル及びリヤカバーの通過が不可能な個体が増加して、コードエンド分離率が低下する。さらに、魚体が 100 mm 以上になると、フロントパネルを通過できなくなることでコードエンドに入る割合が増えたと考えられる。また、フロントパネルを取り外した場合でも、魚体が大きくなるにつれてコードエンド分離率が大きくなる。この原因は、魚体の大きさによって遊泳層が異なる、或は、魚体が大きくなれば遊泳力が増すため、リヤパネルを回避してコードエンドで漁獲されるなどが推察される。

フタホシイシガニでは夜間の場合、甲幅 20 mm のコードエンド分離率は 80~100% の値を示し、甲幅 30~40 mm になるとコードエンド分離率は 60~70% に減少した。一方、昼間におけるコードエンド分離率は夜間より低く、アカエビと同様に甲幅が大きくなるにつれて高くなる。また、全体的にコードエンド分離率はリヤカバーがある場合よりも高い方が高い値を示した。これも

Fig. 6. Schematic diagram of animal behavior against SURF-BRD.

アカエビの場合と同様にリヤカバーの網目選択性によるものと考えられる。

SURF-BRD に対する魚の行動 これまで述べてきた分離率や体長別のコッドエンド分離率から, SURF-BRD に対する魚の行動パターンを以下の4つのパターンに分類して, 模式的に Fig. 6 に示した。

- (1) 分離装置のフロントパネルの上方を遊泳し, フロントパネルに遭遇することなくコッドエンドへ入る。尾叉長 200 mm のエソ類は, フロントパネルがない場合ほとんどの個体がコッドエンドで漁獲されたことから, この経路で漁獲されたと推測される。小型エビ類は夜間では個体に対して十分に網目が大きいにもかかわらず, 100% 近くの個体がコッドエンドで漁獲されたことから, このパターンで漁獲されたと推定される。また, 夜間の場合のガンゾウビラメ, 小型カニ類のコッドエンド分離率は昼間に比べて高い値で分布していることから, ある程度の個体がこの経路で漁獲されたと考えられる。
- (2) フロントパネルに遭遇した後, 角目網を通過することなくパネルに沿って上方へ遊泳して, またはフロントパネルを抜けることなく接触しながら, コッドエンドへ誘導される。コウイカはフロントパネルの有無によって分離率が左右されることから (Fig. 5), フロントパネルによってコッドエンドへ誘導されたと考えられる。また, 全長 100 mm 以上のガンゾウビラメや甲幅 20~30 mm のフタホシイシガニ, 頭胸甲長 10~20 mm のアカエビもこの経路を経てコッドエンドで漁獲されたと考えられる。
- (3) フロントパネルに遭遇して角目網を通過した後, 逃避口から網外に出る。Fig. 5 に示した全長 80

mm 前後のガンゾウビラメ, 甲幅 20~30 mm の小型カニ類, 昼間における頭胸甲長 10~20 mm の小型エビ類では体長階級別のコッドエンド分離率は, 魚体が大きくなるにつれて低下した。これらの個体はこの経路を経て網外に逃避したと考えられる。

- (4) フロントパネルに遭遇して角目網を通過した後に, リヤパネルやリヤカバーの網目も通過してコッドエンドに入った。甲幅 10 mm クラスの小型カニ類や全長 50 mm のガンゾウビラメはこの経路を経てコッドエンドで漁獲されたと考えられる。

この海域でのエビを対象とする底曳網は主に夜間に操業される。したがって, 底曳網に SURF-BRD を取り付ければ, 夜間では, 曳網中に投棄対象種である小型カニ類を逃避させながら, 主要漁獲対象種の小型エビ類を漁獲できるので, 船上での漁獲物の選別作業を軽減化させることに役立つ。また, 体長 100 mm 前後のアカシタビラメやガンゾウビラメを保護できる。しかし, 本試作網は曳網時における BRD 高さが 1 m になるように設計されたが, 実際には 0.5 m 程度であった (Fig. 4)。この高さではフロントパネルが弛み, フロントパネルの前端部が接地して, 分離機能に悪影響を及ぼした可能性が考えられる。今後は曳網中の網口高さを維持できるように, 設計を改良する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 貴重なご助言, ご協力を頂いた水産大学校海洋生産管理学科 井上 悟博士, 操業実験に協力頂いた山口県下関漁業協同組合の中谷南海男氏, 甲殻類の同定をご指導頂いた水産大学校生物生産学科 林 健一博士に深く感謝する。

文 献

- 1) J. W. Watson, J. F. Mitchell, and A. K. Shah: Trawling Efficiency Device: A New Concept for Selective Shrimp Trawling Gear. *Mar. Fish. Rev.*, **48**, 1-9 (1986).
- 2) J. H. B. Robertson and P. A. M. Stewart: A comparison of size selection of haddock and whiting by square and diamond mesh codends. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **44**, 148-161 (1988).
- 3) B. Isaksen, J. W. Valdemarsen, R. B. Larsen, and L. Karlsen: Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly. *Fish. Res.*, **13**, 335-352 (1992).
- 4) R. B. Larsen and B. Isaksen: Size selectivity of rigid sorting grids in bottom trawls for Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *ICES mer. Sci. Sympo.*, **196**, 178-182 (1993).
- 5) 有元貴文: 漁業における混獲とは, 松田 皎編「漁業の混獲問題」, 恒星社厚生閣, 東京, 1995, pp. 11-29.
- 6) 梶川和武, 藤石昭生, 井上 悟, 永松公明, 濱野 明: 分離漁獲装置付き小型底曳網の分離効果. 日水誌, **64**, 189-196 (1998).
- 7) J. Main and G. I. Sangster: Trawling experiments with a Two-level net to minimise the undersized gadoid by-catch in a *Nephrops* fishery. *Fish. Res.*, **3**, 131-145 (1985).
- 8) 町田末広, 岡座輝雄, 斎藤達彦: 2 段式小型底曳網の上下袋網による分離漁獲. 長崎水試研報, **20**, 47-53 (1994).
- 9) 宮崎千博: 小型機船底曳網の研究. 三重水産学部紀要, **2**, 98-220 (1957).
- 10) 林 健一: 日本産エビ類の分類と生態, 生物研究社, 東京, 1992, pp. 83-84.
- 11) 阪地英男: トラエビ, アカエビ, キシエビ及びサルエビの潜砂能力. 南西水研研報, **28**, 1-7 (1994).
- 12) 井上 悟, 永松公明, 藤石昭生, 阿部 寧: 下関西沖における小型底びき網漁業の投棄魚. 水大校研報, **42**, 109-118 (1994).
- 13) A. Fujiishi: A Theoretical approach to the selectivity of the net gears-III. *J. Shimonoseki Univ. Fish.*, **23**, 87-108 (1974).
- 14) D. A. Wickham and F. C. Minkler: Laboratory observations on daily patterns of burrowing and locomotor activity of pink shrimp, *Penaeus duorarum*, brown Shrimp, *Penaeus aztecus*, and white shrimp, *Penaeus setiferus*. *Contr. Mar. Sci.*, **19**, 21-35 (1975).
- 15) T. H. Moller and D. A. Jones: Locomotory rhythms and burrowing habits of *Penaeus semisulcatus* (de Haan) and *P. monodon* (Fabricius) (Crustacea: Penaeidae). *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **18**, 61-77 (1975).
- 16) C. M. Fuss and L. H. Ogren: Factors affecting activity and burrowing habits of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Biol. Bull.*, **130**, 170-191 (1966).
- 17) C. M. Fuss: Shrimp behavior as related to gear research and development. 1. Burrowing behavior and responses to mechanical stimulus, in "Modern Fishing Gear of the World", 2, Fishing News (Books) Ltd., London, 1964, pp. 563-566.
- 18) A. B. Williams: A contribution to the life histories of commercial shrimp (Penaeidae) in north Carolina. *Bull. Mar. Sci. Gulf and Carib.*, **5**, 116-146 (1955).
- 19) K. S. Ko, M. Suzuki, and Y. Kondo: An Elementary study on Behaviour of common shrimp to moving net. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **36**, 556-562 (1970).
- 20) 井伊 明, 井上喜平治, 拓殖秀臣, 小川良徳, 内橋 潔: 魚類の夜間行動に関する研究-II. 日水誌, **19**, 239-242 (1953).
- 21) 東海 正, 伊東 弘, 山口義昭: 小型底びき網(手繰第3種, 桁網)による異体類3種の網目選択性に関する予備的検討. 南西水研研報, **22**, 29-34 (1989).