以西底びき網漁業における超高分子量ポリエチレン繊維（ダイニーマ）製 漁網が燃油消費量、水揚量および操作性に与える影響

門田 立,¹ 松下吉樹,² 星野浩一,^{1*} 皆川 恵,^{1a} 溝口弘泰³

(2013 年 11 月 8 日受付, 2015 年 1 月 1 日受理)

¹国立研究開発法人水産総合研究センター西海区水産研究所, ²長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科,
³国立研究開発法人水産総合研究センター水産工学研究所

Analyses of fuel consumption, catches and usability of a modified trawl net constructed of ultra-high-molecular-weight polyethylene twine for pair trawl fishery in the East China Sea

TATSURU KADOTA,¹ YOSHIKI MATSUSHITA,² KOICHI HOSHINO,^{1*}
MEGUMI MINAGAWA^{1a} AND HIROYASU MIZOGUCHI³

¹*Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Taira-machi, Nagasaki 851-2213,*
²*Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University, Bunkyo, Nagasaki 852-8521,* ³*National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan*

Fishing experiments were carried out to reduce fuel consumption in pair trawl fishery in the East China Sea. A modified trawl was constructed with thinner twine of ultra-high-molecular-weight polyethylene (Dyneema) for the wings and the main body, except the belly. By using the modified trawl, fuel consumption during towing was significantly reduced compared to the conventional trawl constructed of thick polyethylene twine ($p < 0.05$, 8.5% reduction when the codend was open, 4.4% reduction when the codend was closed). Furthermore, CPUE of the total of commercially valuable species did not significantly differ ($p > 0.05$) between tows by the modified trawl (170.8 kg/h) and the conventional trawl (144.2 kg/h) as well as CPUEs of five commercially important species, such as yellow sea bream and Japanese butterflyfish ($p > 0.05$). However, on-deck labor increased by using the modified trawl because many fishes were entangled in the meshes of the main body. Thus, we confirmed that the modified trawl reduces fuel consumption while maintaining catch, but further modification is necessary to improve on-deck handling.

キーワード：以西底びき網漁業，漁業経営，省エネ，ダイニーマ，低抵抗漁具

以西底びき網漁業は，東シナ海・黄海を漁場とし，約 80 年に及ぶ長い歴史に培われてきた。¹⁾ 戦後は日本国民への食料の供給という大きな役割を担い，最盛期の昭和 35 年前後には年間 37 万トンの水揚量を記録するなど西日本地域の基幹漁業として重要な役割を果たしてきた。¹⁻³⁾ しかし，その後は，韓国，中国との漁場競合，両国による漁業規制の強化，資源の減少や乗船員不足もあり，以西底びき網漁業は縮小の一途を辿ってきた。²⁻⁷⁾ 近年は，これらの要因に加え，燃油価格の高騰が漁業経

営をさらに圧迫している。油代（燃油代・潤滑油代）が事業支出に占める割合は平成 4 年の 11.9% から平成 23 年（平成 23 年 7 月から平成 24 年 6 月の期間）には 21.0% に拡大している（一般社団法人・長崎県以西底曳網漁業協会，私信）。

近年の原油高騰の影響は，以西底びき網漁業にとどまらず，世界各地の漁業でも経営を圧迫している。⁸⁻¹⁰⁾ また，地球環境問題への関心の高まりもあり，省エネルギー化技術の開発や取組みは水産業の重要課題になって

* Tel : 81-95-860-1611. Fax : 81-95-850-7767. Email : hoshinok@affrc.go.jp

^a 現所属：国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, 422-1 Nakatsuhamaura, Minami-ise, Mie 516-0193, Japan)

いる。^{8,11)} これまでのところ、省エネルギー対策として、減速航行や搭載物の減量、LEDや二重反転プロペラ等の高効率システムの導入など様々なものが提案されている。^{8,11)}

底びき網漁業の省エネルギー対策では、曳網時の燃油消費量が占める割合が大きいことから、主機関の燃油消費量を低減できるように漁具抵抗を軽減した低抵抗漁具が有効と考えられている。^{8,11-14)} 漁具抵抗の軽減には、網糸の直径が小さい超高分子量ポリエチレン繊維や結節部の抵抗を小さくできる無結節網の使用、目合の拡大等が有効とされている。^{8,11)} これまでに沖合底びき網漁業では低抵抗漁具の試験操作が行われ、超高分子量ポリエチレン繊維製網地の使用と網目の拡大により、燃油消費量が11.5–15.6%削減できることが報告されている。¹²⁾ しかし、以西底びき網漁業ではこれまでに超高分子量ポリエチレン繊維製の網地を使用したことはなく、超高分子量ポリエチレン繊維製網地が燃油消費量や水揚量、操作性にどのような影響を与えるのか知見がない。網地の抵抗は縮結の増加とともに増すことが報告されているが、¹⁵⁻¹⁷⁾ 従来の以西底びき網漁具は他の地域で使用されている底びき網漁具と比較して網地の縮結が大きく（一般社団法人・長崎県以西底曳網漁業協会、私信）、こうした設計の漁具の網糸を細くすることが燃油消費の削減にどの程度貢献するか確認することが必要であった。そこで、本研究では、超高分子量ポリエチレン繊維製網地を袖網と身網に使用した低抵抗網（以下、低抵抗網と呼ぶ）を作製して曳網試験を実施し、その際の燃油消費量、水揚量、および操作性を以西底びき網漁業で通常使用されている網（以下、従来網と呼ぶ）と比較した。

材料と方法

曳網試験 低抵抗網と従来網の燃油消費量、水揚量および操作性を比較する曳網試験を、2011年10月9日から同年10月22日にかけて実施した。試験に用いた船は長運水産株式会社所属の2そうびき以西底びき網漁船第一・第二長運丸（総トン数：各113トン；機関出力：各735kW）で、調査海域は従来の以西底びき網漁場とした（Fig. 1）。以西底びき網漁業で用いられる底びき網には、ポリエチレン製網地が使用されている〔袖網部分の網糸の直径： 2.15 ± 0.12 mm（平均値±S.D.）、 $n=20$ ；身網部分： 2.13 ± 0.11 mm、 $n=20$ ；Fig. 2〕。これに対し、低抵抗網には網糸の直径が小さい超高分子量ポリエチレン繊維（ダイニーマ）製の網地（ 1.51 ± 0.07 mm、 $n=20$ ；Fig. 3）を袖網と身網に同じ縮結（21.5–24%）で配した。ただし、ダイニーマは高価であることから、破網が頻繁に起こると考えられる身網の底部（belly）には従来のポリエチレン網地を使用した。なお、今回の試験では、ダイニーマを配した各部位

Fig. 1 Location of operation.

Fig. 2 Design of the conventional trawl net.

の目合は袖網の一部で目合を拡大した他は従来網と同じにした。

試験では、従来網と低抵抗網を交互に曳網し、26回ずつ、合計52回の曳網を行った。このうち、12曳網（従来網と低抵抗網で6曳網ずつ）では、コッドエンドに漁獲物がない時の基本的な低抵抗網の燃油削減効果を把握するため、コッドエンドを開放して曳網を行った

(以下,「空曳」; Table 1)。曳網の際は,潮流や風向など操業条件の違いをできるかぎり排除するため,低抵抗網(従来網)による曳網終了後,ただちに終了地点から同一方向に従来網(低抵抗網)による曳網を行った。次に,漁獲物が入網する通常の操業時の燃油消費量と漁獲物を比較するため,コッドエンドを閉じた曳網を30回(従来網と低抵抗網で15曳網ずつ)行った(以下,「条

件曳網」)。条件曳網でも操業条件を同一にするため,空曳と同様に,低抵抗網と従来網の曳網方向を揃えた。以西底びき網漁業では日中と夜間で漁獲物の量や組成に違いがあることが知られていることから,¹⁸⁾条件曳網は7:20-16:00の日中に限定して行った。また,操業場所や曳網方向,曳網時間帯の制約を設けず漁労長の自由な判断による曳網(以西底びき網の通常の曳網;以下,「自由曳網」)を10回実施した。

その他の人為的にコントロールができる曳網条件(曳網時間,船間距離,ワープ長,および曳網速度等)に関しては,以西底びき網漁業の通常操業に準じ,曳網時間(日中)をワープセット後85分,船間距離を500m,およびワープ長を1450mとした。ただし,薄明薄暮の曳網時間は通常150分であるが,作業上の都合から本試験では120分とした。曳網速度に関しては3.4ノットとし,主機関回転数を一定に保ち(840rpm),翼角度を変えることで調整した。曳網中の網の形状を把握するために,ヘッドロープ中央部に取り付けしたネットレコーダーにより曳網開始直後,曳網開始30分後,60分後,および曳網終了直前の網口高さを記録した。

燃油消費量の計測 曳網開始時および曳網終了直前の流量計の表示器を0.1L単位で時刻とともに記録することによって,曳網中の燃油消費量を計測した。しかし,第二長運丸では燃油計測を担当していた機関長が体調不良により計測が困難になったことから,本研究では第一長運丸の曳網終了時と曳網開始時の流量計表示器の差を1隻の燃油消費量の代表値とした。その他の機関関連の項目として,翼角度,燃料ラック目盛,給気圧を曳網30分後,60分後,終了直前に計測・記録した。これらの項目についても,第一長運丸のデータのみを解析に用いた。

漁獲物の処理および水揚量の記録 以西底びき網漁業

Fig. 3 Design of the modified trawl net. Light gray panels: Dyneema netting, same mesh size as the conventional trawl design; dark gray panel: Dyneema, larger mesh size than the conventional trawl design.

Table 1 Summary of three types of comparison of the conventional and modified trawls

Type of comparison ^{*1}	Date Oct. 2011	Location		No. of tows	Depth (m)	CPUE of landed fish (kg/h)	Main landed fish (mean, %)
		Lat.	Lon.				
Controlled	10-19	N 30°58' -N 32°19'	E 127°04' -E 128°02'	12	136 ± 11.9 ^{*2}	—	—
Semi-practical	10-19	N 31°00' -N 32°26'	E 127°06' -E 127°55'	30	135 ± 10.7	157 ± 81	<i>Dentex hypselosomus</i> (36) <i>Loligo edulis</i> (18) <i>Chelidonichthys spinosus</i> (8)
Practical	20-21	N 31°46' -N 32°22'	E 127°45' -E 128°08'	10	152 ± 7.1	186 ± 47	<i>Dentex hypselosomus</i> (45) <i>Lepidotrigla</i> spp. (12) <i>Pagrus major</i> (8)

^{*1} Controlled comparison: Paired tows of modified and conventional trawls that were conditioned to minimize external disturbances such as influences of current and wind, and the codend was opened to exclude the drag of captured fishes; Semi-practical comparison: Paired tows that were conditioned, but the codend was fastened to catch fishes; Practical comparison: Tows that were not paired, were not conditioned, and were conducted in the manner of the usual commercial trawl operation.

^{*2} Values are shown as mean ± standard deviation.

では各船が漁網を1式ずつ搭載し、交互に網を使用して、自船の漁網で得られた漁獲物の処理を自船で行う。本試験では低抵抗網を第一長運丸、従来網を第二長運丸が搭載したことから、低抵抗網で得られた漁獲物は第一長運丸が、従来網で得られた漁獲物は第二長運丸がその処理を行った。選別方法および漁獲物の処理方法は、通常の以西底びき網漁業で行われているものに準じた。すなわち揚網後、漁獲物を魚種別に荒選別した後、水揚魚は体長別（銘柄別）に選別し、スチロール製もしくは木製の魚函に収函した。各曳網における水揚魚の漁獲量（以下、水揚量）は、全漁獲物の収函作業終了後にまとめて魚函数を計数し、魚函数に1函当たりの重量を乗じて推定した。魚種別の1函当たりの魚函重量は一般社団法人・長崎県以西底曳網漁業協会から提供された情報に基づいた（Table 2）。1日の条件曳網（通常4曳網）のうち2-4回の曳網では、以西底びき網漁業の主要対象種であるキダイ *Dentex hypselosomus*、イボダイ *Psenopsis anomala* およびアカムツ *Doederleinia berycoides* の尾叉長を1 cm 単位で記録した。これらの魚種は魚種別に荒選別されたものの中から、1曳網当たり50個体を無作為に抽出し測定した。曳網試験終了後に、低抵抗網を使用した第一長運丸の漁労長および甲板長に低抵抗網の操作性に関する聞き取り調査を行った。

データ解析 網口高さは曳網開始直後、曳網開始30分後、60分後、および曳網終了直前の平均値を各曳網の代表値とし、両網間で比較した。なお、曳網中、ネットレコーダーの不調により網口高さの計測が一度もできなかった場合、その曳網はデータ解析から除外した。条件曳網では操業条件を揃えたデータを対とし paired *t*-test で、自由曳網では Student's *t*-test で検定した。空曳では網口高さの計測ができなかった曳網が多く、検定を行うことができなかった。

燃油消費量の解析では、燃油消費量と流量値計測時刻のデータから曳網中における第一長運丸の1時間当たりの燃油消費量を算出し、曳網方法ごとに両網間で比較した。空曳および条件曳網の検定では paired *t*-test を、自由曳網の検定では Student's *t*-test を用いた。機関関連データ（翼角度、燃料ラック目盛および給気圧）は曳網30分後、60分後、終了直前の第一長運丸の計測データの平均値を各曳網の代表値とし、燃油消費量と同様の方法で解析した。

Table 2 の換算表に基づく水揚量の解析では、条件曳網時の水揚魚合計、キダイ、マダイ *Pagrus major*、イボダイ、アカムツおよびケンサキイカ *Loligo edulis* の水揚量をそれぞれ両網間で比較した。以西底びき網漁業では水揚魚の選別に統一基準（水揚するか投棄するかの判断）はあるものの、漁獲状況により魚価の安い銘柄では漁船間で若干の差が生じることがある。本調査では、ケ

Table 2 Weight (kg) per box for each species

Scientific name	Japanese name	Styrol box	Wooden box
<i>Branchiostegus japonicus</i>	Aka-amadai	7	
<i>Caprodon schlegelii</i>	Aka-isaki	9	
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	Hōbō	9	20
<i>Cookeolus japonicus</i>	Chikame-kintoki	9	
<i>Dentex hypselosomus</i>	Kidai	9	20
<i>Doederleinia berycoides</i>	Akamutsu	7	
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	Mushi-garei	5	
<i>Foetorepus altivelis</i>	Beni-teguri	5	15
<i>Hoplobrotula armata</i>	Yoroi-itachiuo	9	
<i>Ibacus ciliatus</i>	Uchiwa-ebi	5	
<i>Kaiwarinus equula</i>	Kaiwari	9	20
<i>Lepidotrigla</i> spp.	Kanagashira-zoku	10	20
Lophiidae spp.	Ankō-ka	8	
<i>Metanephrops thomsoni</i>	Minamiakaza-ebi	5	
<i>Octopus</i> spp.	Madako-zoku	10	
<i>Pagrus major</i>	Madai	8	
<i>Loligo edulis</i>	Kensaki-ika	11	15
<i>Pleuronichthys</i> spp.	Meitagarei-zoku	7	
<i>Priacanthus</i> spp.	Kintokidai-zoku	10	
<i>Psenopsis anomala</i>	Ibodai	10	20
Rajidae spp.	Gangi-ei-ka		20
<i>Saurida</i> spp.	Ma-eso-zoku		20
<i>Scomberomorus niphonius</i>	Sawara	10	10
Scorpaenidae spp.	Fusakasago-ka	10	
Sebastidae spp.	Mebaru-ka	10	
<i>Sepia</i> spp.	Kōika-zoku	9	15
<i>Sphyræna japonica</i>	Yamato-kamasu	8	
<i>Thamnaconus modestus</i>	Umazura-hagi		20
<i>Todarodes pacificus</i>	Surume-ika		15
<i>Trichiurus japonicus</i>	Tachiuo		8
<i>Uranoscopus</i> spp.	Mishima-okoze-zoku	5	
<i>Zeus faber</i>	Matōdai		15

ンサキイカの小型個体（最小の銘柄：外套背長が9 cm より小）とシキシマハナダイ *Callanthias japonicus* の選別基準に漁船間で違いが生じた可能性があったことから、ケンサキイカの小型個体とシキシマハナダイの全個体に関しては解析から除いた。各曳網の水揚量は、投網開始から揚網終了までの時間に基づき1時間当たりの水揚量（CPUE）に換算した後、Kolmogorov-Smirnov 検定によりデータの正規性を検討し、正規性が支持された場合は paired *t*-test を、支持されない場合は Wilcoxon test を用いて検定した。漁獲物の体長の解析では、キダイ、イボダイおよびアカムツにおいて両網間で体長分布に違いがあるかどうかを明らかにするため、Two-sample Kolmogorov-Smirnov test を用いて検定した。本調査海域内では、漁場により漁獲量や漁獲物の大きさが異なることから、漁場の違いによる影響を小さくするため、一定の個体数（50 個体）を計測した曳網のデー

タのみを用いた。一方, アカムツでは 50 個体に達した曳網がなかったことから, 全データを解析に用いた。漁獲物の学名および和名は, 魚類は中坊,¹⁹⁾ 頭足類は奥谷,²⁰⁾ 甲殻類は三宅²¹⁾に従った。

結 果

網口高さの比較 低抵抗網の平均網口高さは空曳時が 3.1 ± 0.1 m ($n=3$), 条件曳網時が 3.2 ± 0.2 m ($n=15$), 自由曳網時が 3.3 ± 0.1 m ($n=5$) であった。一方, 従来網は空曳時が 3.3 ± 0.3 m ($n=2$), 条件曳網時が 3.3 ± 0.2 m ($n=11$), 自由曳網時が 3.3 ± 0.1 m ($n=5$) であった。低抵抗網と従来網の間で有意差は認められなかった

Fig. 4 Fuel consumptions obtained by different types of comparison of the conventional and modified trawls. Each bar indicates mean fuel consumption. Asterisk indicates significant difference between the conventional and modified trawls ($p < 0.05$, paired t -test). A modified trawl was constructed with thinner twine of ultra-high-molecular-weight polyethylene (Dyneema) for the wings and the main body, except the belly. Refer to Table 1 for the three types of comparison.

(条件曳網, paired t -test: $p=0.9$; 自由曳網, Student's t -test: $p=0.6$).

燃油消費量とその他の機関関連データの比較 空曳では低抵抗網使用時の燃油消費量は 95.5 ± 7.8 L/h ($n=4$) で, 従来網使用時 (104.4 ± 8.8 L/h, $n=4$) の 91.5% であった (paired t -test: $p < 0.05$; Fig. 4)。また, 翼角度, 給気圧および燃料ラック目盛は低抵抗網使用時の方が従来網に比べて, いずれも有意に低い値を示した (paired t -test: $p < 0.05$; Table 3)。

条件曳網でも空曳と同様の傾向が得られた。条件曳網の低抵抗網使用時の燃油消費量は 101.6 ± 11.6 L/h ($n=15$) で, 従来網使用時 (106.4 ± 10.8 L/h, $n=15$) の 95.6% であった (paired t -test: $p < 0.05$; Fig. 4)。また, その他の機関関連データはいずれも低抵抗網使用時の方が従来網使用時に比べ有意に低い傾向が見られた (paired t -test: $p < 0.05$; Table 4)。

自由曳網では低抵抗網使用時の燃油消費量は 103.9 ± 5.9 L/h ($n=5$) で, 従来網使用時 (109.1 ± 2.7 L/h, $n=5$) の 95.2% であった (Student's t -test: $p=0.11$; Fig. 4)。また, その他の計測データに関しては低抵抗網使用時の方が従来網使用時に比べ低い傾向が見られた。ただし, 両網間で有意差が認められなかった (Table 5)。

漁獲物の比較 各曳網の水揚げ魚合計の CPUE は低抵

Table 3 Vessel data obtained from controlled comparison*¹ with the conventional and modified trawls at the average commercial speed

	Modified trawl	Conventional trawl	p
Fuel consumption (L/h)	95.5 ± 7.8 (4)* ²	104.4 ± 8.8 (4)	< 0.05 * ³
Pitch angle (deg)	11.1 ± 1.6 (6)	12.0 ± 1.3 (6)	< 0.05
Boost pressure (kg/cm ²)	0.69 ± 0.12 (6)	0.78 ± 0.12 (6)	< 0.05
Fuel injection pump rack (mm)	14.9 ± 1.3 (6)	15.6 ± 1.3 (6)	< 0.05

*¹ Refer to Table 1.

*² Values are shown as mean $\pm$ standard deviation, followed by number of samples in parentheses.

*³ by paired t -test.

Table 4 Vessel data obtained from semi-practical comparison*¹ with the conventional and modified trawls at the average commercial speed

	Modified trawl	Conventional trawl	p
Fuel consumption (L/h)	101.6 ± 11.6 (15)* ²	106.4 ± 10.8 (15)	< 0.05 * ³
Pitch angle (deg)	11.0 ± 1.4 (15)	11.5 ± 1.3 (15)	< 0.05
Boost pressure (kg/cm ²)	0.70 ± 0.11 (15)	0.76 ± 0.11 (15)	< 0.01
Fuel injection pump rack (mm)	14.7 ± 1.2 (15)	15.4 ± 1.0 (15)	< 0.01

*¹ Refer to Table 1.

*² Values are shown as mean $\pm$ standard deviation, followed by number of samples in parentheses.

*³ by paired t -test.

抗網使用時 (170.8 ± 93.3 kg/h, $n = 15$) と従来網使用時 (144.2 ± 66.8 kg/h, $n = 15$) で有意差はなかった (paired t -test: $p > 0.05$; Fig. 5)。また、主要漁獲物であ

Table 5 Vessel data obtained from practical comparison^{*1} with the conventional and modified trawls at the average commercial speed

	Modified trawl	Conventional trawl	p
Fuel consumption (L/h)	$103.9 \pm 5.9(5)^{*2}$	$109.1 \pm 2.7(5)$	0.11 ^{*3}
Pitch angle (deg)	$11.4 \pm 0.7(5)$	$12.0 \pm 0.5(5)$	0.16
Boost pressure (kg/cm ²)	$0.73 \pm 0.06(5)$	$0.80 \pm 0.03(5)$	0.055
Fuel injection pump rack (mm)	$15.3 \pm 0.5(5)$	$15.7 \pm 0.4(5)$	0.17

^{*1} Refer to Table 1.

^{*2} Values are shown as mean $\pm$ standard deviation, followed by number of samples in parentheses.

^{*3} by Student's t -test.

るキダイの CPUE も低抵抗網 (65.9 ± 45.2 kg/h, $n = 15$) と従来網 (56.4 ± 38.2 kg/h, $n = 15$) の間で有意差はなかった (paired t -test: $p > 0.05$)。その他の漁獲物に関しても、低抵抗網と従来網の間で CPUE に有意差はなかった (アカムツ・ケンサキイカ : paired t -test: $p > 0.05$; マダイ・イボダイ : Wilcoxon test: $p > 0.05$)。

水揚げに占める各魚種の割合は、低抵抗網ではキダイ、ケンサキイカ、ハウボウ *Chelidonichthys spinosus*, マダイ、カナガシラ類 *Lepidotrigla* spp. の順に多く、従来網ではキダイ、ケンサキイカ、ハウボウ、カナガシラ類、イボダイの順に多かった (Table 6)。低抵抗網と従来網の間で魚種組成に差は見られたものの、上位 5 魚種のうち、4 魚種が共通であった。漁獲物の体長組成に関しては、キダイ、イボダイおよびアカムツのいずれにおいても、両網間で有意差は見られなかった (Kol-

Fig. 5 CPUE (kg/h) of total landed fishes, yellow sea bream *Dentex hypselosomus*, red seabream *Pagrus major*, Japanese butterfish *Psenopsis anomala*, rosy seabass *Doederleinia berycoides* and swordtip squid *Loligo edulis* for the conventional and the modified trawls. Each bar indicates mean CPUE.

Table 6 Composition of weight of 10 major species caught by the conventional and modified trawls

Modified trawl		Conventional trawl	
Species*1	Weight (mean, %)	Species	Weight (mean, %)
<i>Dentex hypselosomus</i>	35.1	<i>Dentex hypselosomus</i>	37.1
<i>Loligo edulis</i>	17.6	<i>Loligo edulis</i>	19.2
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	6.3	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	10.1
<i>Pagrus major</i>	6.1	<i>Lepidotrigla</i> spp.	8.5
<i>Lepidotrigla</i> spp.	5.6	<i>Psenopsis anomala</i>	8.2
<i>Hoplobrotula armata</i>	5.0	<i>Hoplobrotula armata</i>	2.1
<i>Psenopsis anomala</i>	4.9	<i>Zeus faber</i>	2.0
Rajidae spp.	3.1	<i>Kaiwarinus equula</i>	1.9
<i>Kaiwarinus equula</i>	2.3	Scorpaenidae spp.	1.8
<i>Scomberomorus niphonius</i>	2.1	<i>Todarodes pacificus</i>	1.7

*1 Refer to Table 2 for Japanese names corresponding to scientific names.

Fig. 6 Size-frequency distributions between the conventional trawl and modified trawl for (a) yellow sea bream *Dentex hypselosomus*, (b) Japanese butterflyfish *Psenopsis anomala* and (c) rosy seabass *Doederleinia berycoides*.

mogorov-Smirnov test: $p > 0.05$; Fig. 6).

操作性の比較 聞き取り調査より、低抵抗網使用の利点として、低抵抗網は網糸の強度が高いため、破網時の

伝線（網糸の連鎖的な破断による破網部位の拡大）が少ない可能性があることが指摘された。問題点として、(1)ダイニーマは強度が高いため、破網時の修理の際ハサミによる網地の裁断が難しく、修理に手間がかかること、(2)ダイニーマを用いた身網部分に漁獲物が引っかかり（もしくは、絡まり）、船上作業の手間が増えることが指摘された。また、漁獲物の引っ掛かりは特定部位に偏らず身網の広い範囲で起こったことが指摘された。

考 察

今回の試験で使用した第一・第二長運丸は、主機関回転数を一定に保ち、可变ピッチプロペラの翼角度を変化させることにより推進力を調整する。そのため、同じ速力で曳網する場合、網の抵抗が小さいほど翼角度も小さい設定で良く、結果として燃油消費量が減少する。本試験では、コッドエンドを開いた空曳を行い、低抵抗網の使用により翼角度と燃油消費量が有意に減少することが認められた。このことは、ダイニーマを袖網と身網に用いることにより、網の抵抗が小さくなり、燃油消費量が減少したことを示している。本調査では漁具抵抗の計測を行わなかったが、今後は低抵抗網の力学的特性を把握するためにも漁具抵抗の定量的評価が必要である。

コッドエンドを閉じて漁獲物を保持した条件曳網においても、低抵抗網の使用により、翼角度と燃油消費量のいずれも有意に減少した。このことは、漁獲物が入網しても低抵抗網の燃油削減効果が維持できたことを意味する。ただし、条件曳網の低抵抗網の燃油消費量は従来網の95.6%、空曳は91.5%であったことから、漁獲物の入網により低抵抗網の燃油削減効果は小さくなると考えられた。一方、漁労長の自由な判断による自由曳網の燃油削減効果（従来網の95.2%）は条件曳網とほぼ同程度であったことから、以西底びき網漁業の通常操作における燃油削減効果は条件曳網のものとほぼ同程度であると推察される。これらの結果から、以西底びき網漁業ではたとえ漁具の構造や目合を大きく変更しなくても、網糸直径を小さくできるダイニーマを用いることにより燃油消費量の減少が見込めると考えられる。

漁獲物に関しては、水揚げ合計のCPUE、キダイのCPUE、およびその他の水揚げ種のCPUE、いずれも低抵抗網と従来網の間で有意差は認められなかった。また、魚種組成も低抵抗網と従来網で類似していた。漁獲物の体長組成に関しても、キダイ、イボダイおよびアカムツのいずれにおいても両網間に有意差はなかった。これらのことから、以西底びき網漁業では、ダイニーマを使用しても漁獲物の多寡や組成への影響は少ないものと推察される。

網口高さに関しては、低抵抗網と従来網の間で有意差は認められなかった。このことは、袖網と身網部の網糸

直径を小さくしても曳網中の網の形状には影響が少ない可能性を示唆する。今後は網口高さだけでなく、袖先高さ等も計測し、より総合的な視点からダイニーマが網の形状に与える影響を評価する必要がある。

操作性に関しては、ダイニーマを身網部分に使用すると漁獲物が引っ掛かり（絡まり）、船上作業の手間が増えることなどの問題点が示された。以西底びき網漁業は、長期にわたる昼夜操業や函立て作業を行うため、労働条件が厳しい。^{2,7)} そのため、ダイニーマを使用の際には、可能な限り船上作業の負担となることは避ける必要がある。今後は、漁獲物の絡まりを少なくするために、絡まりの多い身網の部位を従来のポリエチレン繊維に戻すなどの改良を行う必要があると思われる。

近年の原油価格の高止まりによる漁業経営への圧迫と地球温暖化の対応から、漁業においても省エネルギー化の必要性が訴えられている。⁸⁾ 世界の水産業全体では年間およそ 500 億リットルの燃料が、²²⁾ 日本全体では年間およそ 21 億リットルの燃料が消費されていると推定されている。²³⁾ 近年、一部の漁業や海域では低抵抗漁具の有効性に関する研究が行われているが、^{12,13)} ダイニーマなどの超高分子量ポリエチレン繊維に注目した研究事例は未だ少ないのが現状である。それゆえ、本研究が超高分子量ポリエチレン繊維の有効性を検証した試みとして、以西底びき網漁業にとどまらず、他の底びき網漁業の省エネルギー化にも貢献することを期待したい。

謝 辞

尾崎武広部長をはじめとする長運水産株式会社の皆様には、本調査を円滑に進行するため多大なご尽力をいただいた。長運水産株式会社の河内守漁労長、南勝良船長、ならびに第一長運丸と第二長運丸の乗組員の方々に計画した試験操業で安全な航行と現場の作業を実行して下さった。中央水産研究所の時村宗春所長と西村明資源管理研究センター長には、本調査を実施する上で様々なご助言を頂いた。西海区水産研究所臨時調査員の佐久間秀行氏、林 倫成氏、森安亮太氏には調査船に乗船いただき、操業記録や体長測定等の作業を実施していただいた。西海区水産研究所の松永裕子氏と神徳 隆氏には調査準備とデータ入力作業でご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げる。本調査は、特定非営利活動法人水産業・漁村活性化推進機構の委託事業「平成 23 年度漁海況情報配信事業 漁場形成状況等調査事業」の一部として実施された。

文 献

- 1) 片岡千賀之．以西底曳網・以西トロール漁業の戦後史
- 2) 時村宗春．東シナ海以西底曳の再生に向けて．水産界 2009; **1489**: 29-31.
- 3) 時村宗春．東シナ海の水産資源と漁業形態．日本水産学会誌 2011; **77**: 919-923.
- 4) 山田浩一朗．以西底びき網漁業の現状．日本水産学会漁業懇話会報 1993; **34**: 21-28.
- 5) 山田浩一朗．漁業者の声 以西底曳網漁業の直面する課題．海洋水産エンジニアリング 2003; **3**: 56-81.
- 6) 時村宗春．東シナ海・黄海における日本の漁業．月刊海洋 1999; **31**: 637-644.
- 7) 片岡千賀之．以西底曳網漁業の戦後史Ⅱ．長崎大学水産学部研究報告 2010; **91**: 35-59.
- 8) 水産業における省エネルギー対策と合理的なエネルギー消費の在り方について．(財)水産総合研究センター 水産業エネルギー技術研究会，東京．2009.
- 9) Abernethy KE, Trebilcock P, Kebede B, Allison EH, Dulvy NK. Fuelling the decline in UK fishing communities? *ICES J. Mar. Sci.* 2010; **67**: 1076-1085.
- 10) Cheilari A, Guillen J, Damalas D, Barbas T. Effects of the fuel price crisis on the energy efficiency and the economic performance of the European Union fishing fleets. *Mar. Policy* 2013; **40**: 18-24.
- 11) Suuronen P, Chopin F, Glass C, Løkkeborg S, Matsushita Y, Queirolo D, Rihan D. Low impact and fuel efficient fishing—Looking beyond the horizon. *Fish. Res.* 2012; **119-120**: 135-146.
- 12) 全国底曳網漁業連合会．底びき網漁業（2 そうびき）における抵抗低減漁具の技術導入効果実証試験．平成 20 年度省エネルギー技術導入促進事業：魅力ある水産業のための技術開発事業のうち漁船漁業省エネルギー技術実証事業 漁船等省コスト技術緊急実証事業報告書，海洋水産システム協会，東京．2009: 233-250.
- 13) Parente J, Fonseca P, Henriques V, Campos A. Strategies for improving fuel efficiency in the Portuguese trawl fishery. *Fish. Res.* 2008; **93**: 117-124.
- 14) 溝口弘泰，芳賀圭吾，長谷川勝男．小型底曳き網漁船の燃料消費量について．日本水産工学会学術講演会講演論文集 2009; 225-226.
- 15) 谷口武夫．水中における各種囊網の抵抗について—Ⅶ．日本水産学会誌 1969; **35**: 641-643.
- 16) 小長谷庸夫．巾着網の設計理論に関する基礎研究．三重県立大学水産学部紀要 1971; **8**: 209-296.
- 17) 今井健彦．平面網地の流水抵抗に関する基礎的研究—Ⅲ 網地模型の流水抵抗特性．鹿児島大学水産学部紀要 1978; **27**: 131-137.
- 18) 水谷高教，原田泰志，山下秀幸，山本圭介，依田真理，檜山義明．東シナ海の着底トロール調査における漁獲物の昼夜差について．日本水産学会誌 2005; **71**: 44-53.
- 19) 中坊徹次編．「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」東海大学出版，神奈川．2013.
- 20) 奥谷喬司編．「日本近海産貝類図鑑」東海大学出版会，東京．2000.
- 21) 三宅貞祥．「原色日本大型甲殻類図鑑（Ⅰ）」保育社，大阪．1982.
- 22) Tyedmers PH, Watson R, Pauly D. Fueling global fishing fleets. *Ambio* 2005; **34**: 635-638.
- 23) 長谷川勝男．わが国における漁船の燃油使用量と CO₂ 排出量の試算．水産技術 2010; **2**: 111-121.