

原著論文

トド被害防除対策としての強化刺網開発

磯野岳臣*¹・新村耕太*^{2,3}・服部 薫*¹・山村織生*¹Development of Reinforced Bottom Gillnets for Mitigation of Damages from Steller Sea Lion *Eumetopias jubatus*

Takeomi ISONO, Kouta NIIMURA, Kaoru HATTORI and Orio YAMAMURA

On the western coast of Hokkaido, bottom gillnets have been damaged due to Steller sea lions (SSL). The destruction of nets and depredation of catches have amounted to more than 1 billion JPY per year since the early 1990s. As mitigation measures, endeavors have been made to develop reinforced bottom gillnets (RBGs). The RBGs are comprised of three layers: a panel of standard netting, sandwiched by a pair of outer nets made of strong fibers. Dyneema, Tetoron and Vectran have been tested as the strengthening fibers. RBGs are required to be operable, catchable, and reasonably priced as well as being defensive against SSL damage. However, none of the three materials completely met these requirements yet. In this paper, the developments of RBG's in the period of 2001-2006 is reviewed. Of the three fibers tested, Dyneema was concluded to be the most promising, although the price is still too expensive to be acceptable to fishermen.

2012年7月12日受付, 2013年5月22日受理

北海道沿岸および青森県の一部では10～5月, トドの越冬回遊が見られる¹⁾。トドの来遊は主に北海道日本海側の積丹以北に集中し, これらの海域を中心にトドを原因とする刺網や定置網の破網, 漁獲物の食害等の漁業被害が発生している²⁾。北海道庁による集計被害額は1992年以降10億円を越え続けており, 2008年4月～2009年3月の集計被害額は約13.9億円であった³⁾。被害は刺網に集中しており, 業種別の被害金額では刺網が81.5%と突出して多く, 次いで定置網が8.8%, 底建網が5.4%と続き, その他の漁業が4.2%であった。刺網漁業の被害内容として, 羅網した漁獲物を網ごと喰い破られ, 漁獲物と漁網を損失すること(破網および食害), 破網により本来得られる筈であった漁獲が得られないこと(CPUEの低下), および甚大な被害により休漁もしくは操業期間の短縮を余儀なくされること(操業機会の損失)が挙げられる²⁾。被害発生海域では, これまでに

行政機関および漁家による駆除や追い払い等の被害対策事業が行われてきた²⁾。しかし, トドの来遊する冬期, 北海道日本海側は概して海況が悪く, これら対策の実施機会が乏しい。また, シャチの鳴音や大音圧を用いた威嚇により, 漁具の近傍から一時的にトドの駆逐に成功する場合もあったが, 馴化により継続的な効果は得られなかった⁴⁾。さらに, 上陸場において農業用スズメ忌避爆音機を使用することによりトドを駆逐することは可能であったが, 隣接する岩場へ移行するのみであり⁵⁾, 被害の軽減には繋がらなかった⁶⁾。このように, トドを漁場から持続的に駆逐する方策は現時点では皆無である。

一方, 漁具そのものをトドによる攻撃から防護することも試みられてきた。北海道後志地方の小型定置網では, トド被害に遭う袋網部分に強化繊維を使用することにより, 被害軽減に成功している⁷⁾。しかし, 最も深刻な被害を受ける刺網では, このような強化繊維を用いた

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター 北海道区水産研究所
〒085-0802 北海道釧路市桂恋 116

Hokkaido National Fisheries Research Institute, FRA, 116 Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan
isonot@affrc.go.jp

*² 元・独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター

*³ 現・水産庁増殖推進部

被害防除は行われてこなかった。このため、認可法人海洋水産資源開発センター（現 独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター：以下センター）では、通常の刺網を2枚の強化繊維網で挟む三枚網構造の強化刺網を試作した。なお、この三枚網構造の刺網を以下「強化網」、強化繊維で作成した網部分を「外網」、普通刺網部分を「身網」と称する（図1）。2001～2006年、センターは外網の強化繊維として、高密度ポリエチレン繊維、ポリエチレンテレフタレート繊維およびポリアリレート繊維を用いて強化網を作成した。なお、本強化刺網開発では、高密度ポリエチレン繊維として東洋紡績株式会社（大阪市北区）の「ダイニーマ」を、ポリエチレンテレフタレート繊維として東レ株式会社（東京都中央区）および帝人株式会社（大阪市中央区）の「テトロン」を、ポリアリレート繊維として株式会社クラレ（東京都千代田区）の「ベクトラン」を用いた。本稿では各強化繊維としてこれらの名称を使用する。調査期間中、被害防除効果およびCPUEを観察しながら、強化繊維で作成した網糸をより細くすることにより、強化網の操作性向上と低価格化を試みた。また、2003～2006年には北海道水産林務部（以下北海道庁）による試験操業「とど被害防止漁具実証事業」も行われ、ダイニーマおよびテトロンが試用された⁸⁻¹¹⁾。センターおよび北海道庁が行った試験操業場所を図2に、概要を表1に示した。しかし、強化網は通常の刺網を網糸直径の太い外網で挟むため、操作性、CPUEおよび価格の点で問題になりやすく、現状では普及に至っていない。本稿では、比較的同一条件で行った2001-2002、2005および2006年の北海道石狩市における試験結果について試験操業の概要を述べ、CPUE、操作性、被害防除効果および価格について整理し、その成果と普及に向けた問題点の抽出を目的とした。

材料と方法

強化繊維として用いたダイニーマは、超高分子ポリエチレンを原料とし、有機繊維の中でも高い強度と弾性率を有し、吸水性が極めて低いため耐水・耐候性に優れる^{12,13)}。テトロンはポリエステル系合成繊維であり、廉価である。ベクトランは高強力ポリアリレート系の繊維で、強度と耐磨耗性が高く吸水性は低い¹⁴⁾。各繊維は、

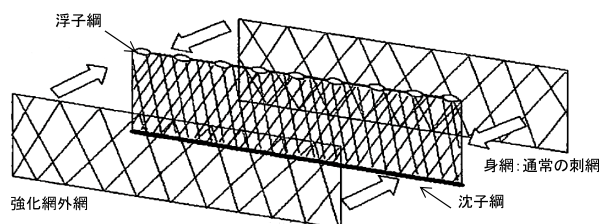


図1. 強化網の構造

撚り数によって網糸直径、引張強度および価格等が異なる（表2）。

2001-2002年、2005年および2006年冬期、かれい刺網漁業で試験操業を行った。使用船舶は9.7t、海底水深20～50m程度の沿岸域において、操舵1名のほか、作業員2～3名で操業を行った。外網に用いた強化繊維は、ダイニーマ12本、4本および2本撚り、テトロン36本および24本撚り、ベクトラン4本撚りを試用し、外網目合は400、450および600mmとした。これに伴い、異なる仕立ての強化網を各調査年で用いた（表3）。各調査年において、これらの強化網と普通網を交互もしくはランダムに2～12反毎に連結し、計17～24反となる1本の試験網を作成した。この試験網を用いて、8:00～11:00に投網を行い、翌日の7:00頃に揚網した。ただし、海況によっては15:00に投網したり、2晩浸漬後に揚網した場合もあった。これら試験網に関して、一反当たりの漁獲重量もしくは尾数（CPUE）、操作性、被害防除効果および価格の許容範囲を評価した。まず、揚網した試験網を陸上に持ち帰り、魚種別漁獲尾数および重量を強化網と普通網に関して記録した。網種間のCPUEの違いを調べるため、網種と各操業結果を対応のあるデータとしてTukeyの方法による多重比較を行った。また、網種間の体長組成を比較するため、無作為抽出したマガレイを0.1cm単位で計測し、Kolmogorov-Smirnov検定で比較した。被害防除効果の指標として、破網箇所の規模および個数を強化網と普通網に関して記録した。なお、破網規模として、浮子網から沈子網まで至る「特大穴」およびそれより小規模な「その他」の2種類を設定した。操作性の指標として、2001-2002年調査時は強化網および普通網の揚網時間を1分単位で計測して比較した。2005年および2006年調査時は、試験操業を依頼した4名の漁業者に対してアンケート調査を行った。評価項目は、1)「投網時」（絡みの有無）および

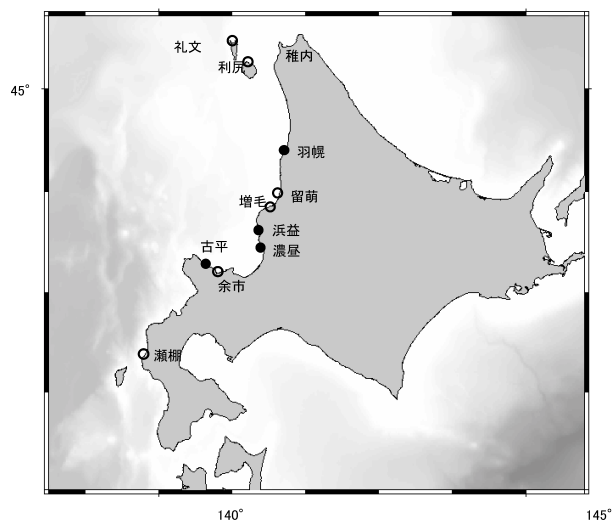


図2. 強化網試験操業場所
●：センター、○：北海道庁

表 1. 2001-2006 年強化網試験操業のまとめ

繊維 /デニール*1	撚り数	対象魚種	調査年	実施機関*2	場所*3	評価*4		
						被害防除効果	操作性	漁獲効率
ダイニーマ /1600d.	12	マガレイ <i>Pseudopleuronectes</i>	2001-2002	センター	浜益	5	1	3
		ニシン <i>Clupea pallasii</i>	2002	センター	浜益	5	1	-
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2005	センター	浜益	-	-	2
	4	ヒラメ <i>Paralichthys olivaceus</i>	2002-2003	センター	浜益	-	3	2
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2003	センター	浜益	5	3	2
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2003	センター	浜益	5	3	4
		アンコウ / カスベ Lophidae / Rajidae	2003-2004	センター	浜益	5	3	2
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2005	センター	浜益	-	3	3
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	センター	浜益	5	4	3
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2006	センター	濃屋	-	1	-
	2	アンコウ / カスベ Lophidae / Rajidae	2003-2004	センター	浜益	4	3	3
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2005	センター	浜益	5	4	4
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2005	センター	羽幌	5	1	1
		クロガシラガレイ <i>Pleuronectes schrenki</i>	2005	センター	古平	5	3	3
		ホッケ <i>Pleurogrammus azonus</i>	2003-2004	北海道庁 ⁸⁾	稚内	2	2	1
		アンコウ / カスベ Lophidae / Rajidae	2003-2004	北海道庁 ⁸⁾	増毛	5	3	3
		マダラ <i>Gadus macrocephalus</i>	2004	北海道庁 ⁸⁾	余市	2	2	3
		ヒラメ <i>P. olivaceus</i>	2004	北海道庁 ⁸⁾	瀬棚	2	2	2
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2004	北海道庁 ⁹⁾	礼文	5	3	3
		アンコウ / カスベ Lophidae / Rajidae	2004-2005	北海道庁 ⁹⁾	増毛	5	3	3
テトロン /250d.	36	マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2005	センター	浜益	5	2	5
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2005	センター	浜益	-	2	-
	24	マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	センター	浜益	4	3	4
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	センター	羽幌	5	1	3
		ニシン <i>C. pallasii</i>	2006	センター	濃屋	-	1	-
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	北海道庁 ¹⁰⁾	利尻	5	2	-
	20	マダラ <i>G. macrocephalus</i>	2005	北海道庁 ¹⁰⁾	余市	-	1	2
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	北海道庁 ^{10,11)}	留萌	5	1	4
		マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2006	北海道庁 ¹¹⁾	瀬棚	3	1	3
	ベクトラン /1500d.	4	マガレイ <i>P. herzensteini</i>	2005	センター	浜益	5	3

太字のデータを本稿での分析に用いた

*1 9,000m 当たりの繊維重量 (g)

*2 センター：独立行政法人水産総合研究センター，北海道庁：北海道水産林務部

*3 位置を図 2 に示した

*4 各事業結果における著者らの印象を優 “5” から劣 “1” までの 5 段階で記した

表 2. 強化刺網開発で試用した強化繊維および普通網の特徴

網種	繊維	太さ (デニール*1)	撚り数	網糸直径 (mm)	調査年	引張強度 (kg)	網地単価*2 (円/反)	仕立単価*2 (円/反)
強化網	ダイニーマ	1600	12	2	2001-02	520	-	200,000
			4	1.4		170	-	112,000
	テトロン	250	2	1	2005	50	43,165	74,000
			36	1.4	2005	50	16,975	36,100
			24	1.2	2006	34	16,975	32,300
			20	-	-	-	-	
	ベクトラン	1500	4	1.3	2005	62	48,015	66,500
普通網	ナイロン	10-12lb.	1	0.26- 0.29	薄曇/ 茶褐色	4.5-5.4	3,036	16,625

*1 9,000m 当たりの繊維重量 (g)

*2 マガレイ用強化網および普通網 (1,000 反購入時) (調査年当時)

「揚網時」(揚網機ドラムへの噛みおよび手での掴み), 2)「重量と高」, 3)「全体的な評価」, 4)「再び使いたい」および5)「普通網の何倍までの価格なら許容範囲か」である。なお, 1)における揚網機ドラムへの噛みとは, 揚網時にドラム上で網が滑ると円滑に網を揚げるができないため, ドラムの溝における強化網の掛り具合を示す。手での掴みとは, 捌きやすさの印象を表す。1)~3)について, 「支障なし」, 「扱いにくい」が支障なし, 「支障あり」の3段階で評価した。4)は「使いたい」, 「何とも言えない」, 「使いたくない」, 5)は「2倍程度」, 「3倍程度」, 「4倍程度」で評価した。また, 経済性の評価として, 強化網を導入した場合に普通網との間に生じる差額を初期投資額 ΔI とし, これを回収可能とするための年数 n を試算した。 r_1 および r_2 を普通網と強化網における1回当たりの身網交換反数(反/回), n_1 および n_2 を各網における身網の交換間隔(年/回), v を身網1反の価格(円/反)とする。いま, n 年後に普通網と強化網の保守費用の差額が初期投資額 ΔI に等しくなる場合, 普通網および強化網の身網の交換は各々 n/n_1 および n/n_2 回行われ,

$$\Delta I = v r_1 n / n_1 - v r_2 n / n_2 \quad (1)$$

で表され,

$$n = \Delta I / v (r_1 / n_1 - r_2 / n_2) \quad (2)$$

に変形される。また, 甚大な破網被害により普通網の身網交換は毎年発生し, 強化網は高い防除効果により身網耐用年数まで継続して使用できるものと仮定する。その場合, $n_1 = 1$ および n_2 は身網耐用年数と同義となり, (2)式は,

$$n = \Delta I / v (r_1 - r_2 / n_2) \quad (3)$$

となる。さらに, $n_2 \rightarrow \infty$ もしくは $r_2 = 0$ の場合,

$$n = \Delta I / v r_1 \quad (4)$$

となり, n の収束値が算出される。ただし, $n \geq n_2 \geq 1$ とし, n 年間は強化網外網の交換は生じないものとする。試算には, 2005年に行った3種の強化網の試験結果を用い, これらの網を各々32反敷設する操業を年34回行うものとした。網単価には表2に示した網地のみの価格を用い, 強化網における外網と身網との連結は漁業者自ら行うものとした。また, 長期的に使用可能な沈子網, 浮子等の価格は除外した。

統計解析は R 2.12.2 を使用した¹⁵⁾。

結 果

操業概要と CPUE 2001-2002 年はダイニーマ 12 本撈りを用いて計 5 回の操業を行い, 延べ使用反数は普通網では計 59 反, 強化網では計 40 反であった。漁獲重量の合計は, 普通網および強化網で各々 299kg および 169kg, 1 反当たりの重量 CPUE (平均値 \pm S.D.) は 5.7 ± 3.6 kg/反 および 4.5 ± 2.0 kg/反であり, 有意差は見られなかった (Tukey's test, $p > 0.05$) (表4)。一方, 主要

漁獲対象種であるかれい類の CPUE は, 魚種別重量が記録されていなかったため 1 反当たりの尾数 CPUE で比較した結果, 普通網 6.5 ± 4.7 尾/反に対して強化網 7.7 ± 9.2 尾/反であり, 網種間の差は見られなかった (Tukey's test, $p > 0.05$)。

2005 年はダイニーマ 2 本撈り, テトロン 36 本撈りおよびベクトラン 4 本撈りを用いて計 34 回の試験操業を行った。延べ使用反数は, 普通網 263 反, 強化網 3 種ではダイニーマ, テトロンおよびベクトランの各々で 267, 263, 268 反であった。試験操業計 34 回のうち, 詳細なデータが得られた 8~18 回目までの結果を用いて 1 反当たりの重量 CPUE を算出した (表4)。漁獲重量合計の CPUE (平均値 \pm S.D.) は, 普通網で 3.1 ± 3.0 kg/反であったのに対し, 強化網 3 種ではダイニーマ, テトロンおよびベクトラン (以下同順) の各々で 3.4 ± 2.9 , 4.4 ± 3.6 および 3.8 ± 3.4 kg/反であり, 普通網-テトロン間でのみ差が見られた (Tukey's test, $p < 0.05$)。また, かれい類合計の重量 CPUE も普通網 1.9 ± 2.2 kg/反に対し強化網は 2.1 ± 2.0 kg/反, 2.9 ± 2.8 kg/反および 2.5 ± 2.8 kg/反であり, 普通網-テトロン間でのみ差が見られた (図3, Tukey's test, $p < 0.05$)。さらに, マガレイおよびクロガシラガレイにおける網種間の重量 CPUE を比較した結果, マガレイ CPUE は普通網で 0.2 ± 0.3 kg/反, 強化網は 0.2 ± 0.2 kg/反, 0.2 ± 0.2 kg/反および 0.2 ± 0.3 /反であり, 網種間の差は見られなかった (Two-way ANOVA, $p > 0.05$)。一方, クロガシラガレイの CPUE は, 普通網で 0.2 ± 0.3 kg/反, 強化網は 0.5 ± 0.7 kg/反, 0.7 ± 0.8 kg/反および 0.8 ± 0.9 /反であり, 普通網-テトロンおよびテトロン-ダイニーマにおいて差が見られた (Tukey's test, $p < 0.05$)。

2006 年はテトロン 24 本撈り目合 600 および 450 mm を用いて計 21 回の試験操業を行い, 延べ使用反数は, 普通網で 164 反, 強化網 2 種では各々 164 および 163 反であった。試験操業 21 回のうち, 詳細なデータが得られた 18 回目までの結果を用いた (表4)。漁獲重量合計の CPUE (平均値 \pm S.D.) は, 普通網で 7.6 ± 5.9 kg/反, 強化網は目合 600mm および 450mm の各々で 8.6 ± 6.0 kg/反 および 8.3 ± 5.7 kg/反であり, 網種間の差は見られなかった (Tukey's test, $p > 0.05$)。また, かれい類合計の重量 CPUE も普通網 6.4 ± 5.6 kg/反に対し強化網は 6.9 ± 5.6 および 6.2 ± 4.4 kg/反であり, 網種間の差は見られなかった (Tukey's test, $p < 0.05$)。さらに, マガレイおよびクロガシラガレイにおける重量 CPUE を比較した結果, マガレイ CPUE は普通網で 0.1 ± 0.1 kg/反, 強化網は 0.1 ± 0.1 および 0.0 ± 0.1 kg/反であり, 網種間の差は見られなかった (図3, Tukey's test, $P > 0.05$)。また, クロガシラガレイの CPUE は, 普通網で 0.5 ± 0.5 kg/反, 強化網は 0.5 ± 0.5 および 0.5 ± 0.4 kg/反であり, 網種間の差は見られなかった (Tukey's test, $p > 0.05$)。合計 10 回分の操業において無作為に抽出したマガレイの体長を

表 3. 2001-2002, 2005 および 2006 年に用いた普通網および強化網の仕様

調査年	網種/反数	部 位	素 材	仕 様
2001-2002	普通網 16 反	網地	ナイロンモノ2号3.5寸GG色	45掛100間(151.5m 縮結=53.6%浮子棚, 59.6%沈子棚) 網丈約4.3m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長46.4間 手棒=0.6m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	60g/m 網付け長40.4間 手棒=1.5m
		沈子	TC-1S	15g×23個
	強化網 10 反	身網	ナイロンモノ2号3.5寸GG色	75掛100間(151.5m 縮結=50.5%浮子棚, 55.5%沈子棚) 網丈約4.3m
		外網	ダイニーマ1600d 2/12 600mm 白色	10掛157目(縮結=31.0%浮子棚, 35.7%沈子棚) 網丈約4.3m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	115g/m 網付け長40間 手棒=1.5m
		沈子	TC-4.5	50g×32個
2005	普通網 16 反	網地	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	35掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約3.6m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長45間 手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	20g×18-20個
	強化網1 16 反	身網	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	35掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約2.3m
		外網	ダイニーマ1600d 2/2 400mm 白色	7.5掛250目(100m 縮結=31.8%浮子棚, 39.4%沈子棚) 網丈約2.3m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長45間手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	--g × --
	強化網2 16 反	身網	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	35掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約2.3m
		外網	ベクトラン 1500d 2/4 400mm 黒色	7.5掛250目(100m 縮結=31.8%浮子棚, 39.4%沈子棚) 網丈約2.3m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長45間手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	--g × --
	強化網3 16 反	身網	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	35掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約2.3m
		外網	テトロン250d 2/36 400mm 薄墨色	7.5掛250目(100m 縮結=31.8%浮子棚, 39.4%沈子棚) 網丈約2.3m
浮子棚		ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長45間 手棒=--m	
沈子棚		ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m	
沈子		--	--g × --	
2006	普通網 30 反	網地	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	30.5掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約3.18m
		浮子棚	ダンライン岩糸	5g/m 2本棚 網付け長45間 手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	60g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	20g×18個
	強化網1 20 反	身網	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	49.0掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約3.18m
		外網	テトロン250d 2/24 600mm白色	7.0掛160目(96m 縮結=29%浮子棚, 37%沈子棚) 網丈約3.18m
		浮子棚	ダンライン岩糸	7.5g/m --棚網付け長45間 手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	30g×30個
	強化網2 20 反	身網	ナイロンモノ3号3.8寸カッチ/魚体色	49.0掛100間(151.5m 縮結=55%浮子棚, 60%沈子棚) 網丈約3.18m
		外網	テトロン 250d 2/24 450mm 白色	9.5掛214目(96.3m 縮結=29%浮子棚, 37%沈子棚) 網丈約3.18m
		浮子棚	ダンライン岩糸	7.5g/m --棚網付け長45間 手棒=--m
		沈子棚	ダンライン岩糸鉛入	100g/m 網付け長40間 手棒=--m
		沈子	--	50g×22個

表 4. 2001 ~ 2006 年試験操業で得られた漁獲物のまとめ

年		2001-2002				2005(8~18回分)				2006(1~18回分)									
		ダイニーマ		普通網		ダイニーマ		テトロン	ベクトラン	普通網		テトロン		テトロン					
		12本摺り	600mm	普通網	普通網	2本摺り	36本摺り	400mm	400mm	4本摺り	普通網	600mm	24本摺り	24本摺り					
操業	期間	10/29~12/6, 3/4~5				2/7~3/11				3/17~4/29									
	回数	5	5	11	11	11	11	11	11	11	18	18	18	18					
	合計使用反数	58	40	88	88	88	88	88	88	88	144	144	144	144					
	合計浸漬時間(hr)	104	104	444	444	444	444	444	444	444	734	734	734	734					
	平均浸漬時間(hr)	20.8	20.8	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	42.7	42.7	42.7	42.7					
		N	kg	N	kg	N	kg	N	kg	N	kg	N	kg	N	kg				
かかれい類	マガレイ <i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	130	-	144	-	119	21.5	81	13.0	82	14.0	92	16.9	1782	294.1	1511	261.4	1082	192.7
Pleuronectiformes	クログンラガレイ <i>P. schrenki</i>	67	-	29	-	94	40.9	132	58.7	226	109.0	162	72.1	186	61.5	416	13.9	556	195.7
	アサバガレイ <i>P. mochigarei</i>	2	-	9	-	192	37.0	259	57.6	259	50.2	225	48.4	189	52.1	179	46.4	122	31.9
	その他かかれい類	24	-	14	-	479	69.2	425	56.3	557	83.3	632	79.9	3628	514.9	3384	544.0	2561	472.8
	かかれい類小計	328	-	322	-	884	168.6	897	185.5	1124	256.5	1111	217.3	5784	922.5	5490	990.8	4321	893.0
	CPUE(小計/合計使用反数)	5.7	-	8.1	-	10.0	1.9	10.2	2.1	12.8	2.9	12.6	2.5	40.2	6.4	38.1	7.1	30.0	6.2
その他	その他小計	702	-	218	-	288	103.8	292	116.2	364	129.2	319	117.3	-	161.0	-	248.8	-	289.3
	CPUE(小計/合計使用反数)	12.1	-	5.5	-	3.3	1.2	3.3	1.3	4.1	1.5	3.6	1.3	-	1.2	-	1.8	-	2.0
	合計	1030	299.0	540	169.0	1172	272.4	1189	301.7	1489	387.2	1431	336.1	-	1087.6	-	1239.6	-	1191.1
	CPUE(合計/合計使用反数)	17.8	5.2	13.5	4.2	13.3	3.1	13.5	3.4	16.9	4.4	16.3	3.8	-	7.6	-	8.9	-	8.3

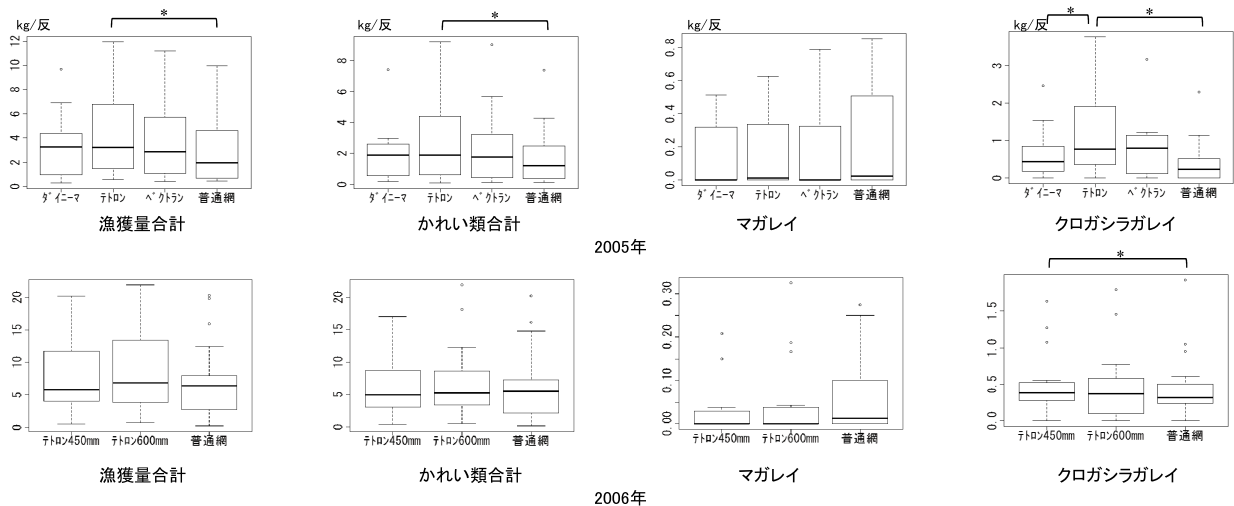


図3. 2005 および 2006 年, 普通網および強化網の重量 CPUE
* : $p < 0.05$, Tukey's test

測定した結果, 平均値 \pm S.E. は, 普通網では $20.0 \pm 0.1\text{cm}$ ($n=310$), 強化網目合 450mm は $20.1 \pm 0.1\text{cm}$ ($n=300$), 強化網目合 600mm は $20.0 \pm 0.2\text{cm}$ ($n=227$) であり, 普通網および強化網 2 種の体長組成間に有意差は認められなかった (図 4, Kolmogorov-Smirnov test, $P > 0.05$)。

操作性 2001-2002 年, 普通網 16 反およびダイニーマ 12 本撈り 10 反の揚網時間を計測した結果, 普通網部分では 24 分 (1.5 分/反), 強化網部分で 21 分 (2.1 分/反) であり, 強化網は普通網の約 1.5 倍の時間を要した。また, 通常使用している普通網 40 反の揚網時間は約 60 分であった。2005 年調査において使用した強化繊維による網糸直径はダイニーマ 2 本撈り, テトロン 36 本撈りおよびバクトラン 4 本撈りで各 1.0, 1.4 および 1.3mm (表 2) であり, ダイニーマ 12 本撈りに比して網糸直径を 30 ~ 50% 細くした。しかし, 揚網時のドラムの噛み具合に関して, 漁業者 4 名中 1 名が「支障あり」, 3 名が「扱いにくい支障なし」との意見を示した (表 5)。特にテトロン 36 本撈りは, 他繊維より網糸直径が太いためドラムの溝に入りやすく, 潮流の速い時等にはドラム上で滑りやすかった。重量および嵩については, 3 名が「支障なし」, 1 名が「扱いにくい支障なし」としたが, 網糸直径の太いテトロン 36 本撈りは, 「重たく, 嵩張る」とのコメントがあった。一方, ダイニーマ 2 本撈りは「細かつ軽量で繊維表面が滑らかなことから, 投揚網時の操作性に優れていた」とのコメントを得た。2006 年に使用した強化繊維の網糸直径はテトロン 24 本撈りで 1.2mm であった。調査対象の漁業者 4 名全員が, 投網時の繰り出しおよび揚網時のドラムの噛み具合に関して両目合とも「支障なし」と回答した (表 5)。しかし, 重量と嵩については, 4 名中 1 名が「支障あり」, 2 名が「扱いにくい支障なし」であり, 特に操業に使用

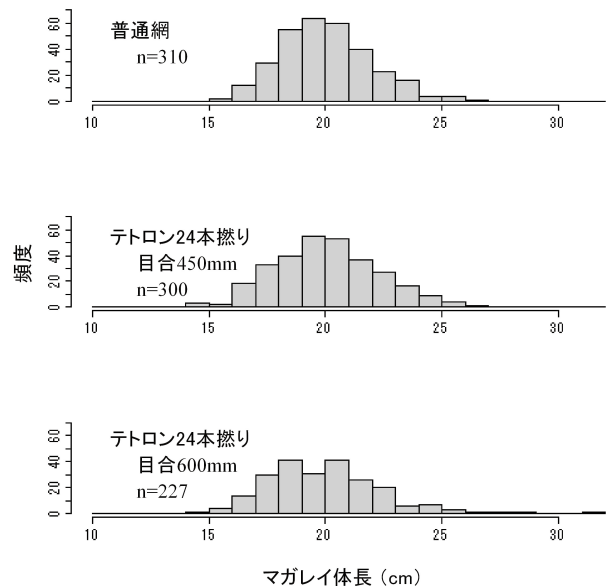


図4. 普通網および強化網 2 種 (テトロン 24 本撈り 外網目合 450mm および 600mm) で漁獲されたマガレイの体長組成

した後のテトロン繊維の吸水による重量増加が問題視され, 「漁業者 1 名による単独操業では使用不可能」との意見があった。

被害防除効果 強化網における身網・外網および普通網の破網状況を表 6 に示した。2001-2002 年に合計 5 回行った試験操業のうち, 普通網における破網は合計 3 箇所見られた。このうち 2 箇所は $1.5 \times 1.5\text{cm}$ と小規模だったが, 浮子網から沈子網に至る特大穴が 1 箇所発生した。ただし, これらの被害によって解体した網は発生しなかった。一方, 強化網では, 外網および身網のいずれにおいても破網は見られず, 解体した網も発生しなかった。

表 5. 2005 ~ 2006 年試験操業時に行った強化網アンケート調査結果

		2005 ダイニーマ2本撚り,テトロン36本撚り,ベクトラン4本撚り			2006 テトロン24本撚り 目合600mmおよび450mm				
		支障なし	扱いにくい が支障なし	支障あり	コメント	支障なし	扱いにくい が支障なし	支障あり	コメント
投網時	絡みの有無	3	1	0	ダイニーマは細く軽量で表面が滑らかであった	4	0	0	普通網と同等
揚網時	ドラムへの噛み具合	0	3	1	テトロンは網系直径が太く滑りやすかった	3	1	0	普通網と同等
	手での掴み具合	1	3	0	テトロンおよびベクトランは掴みづらかった	4	0	0	普通網と同等
重量および嵩		3	1	0	テトロン、ベクトラン、ダイニーマの順に重かった	1	2	1	テトロンの湿重量は重く、単独操業者では使用不可能
全体的な評価		0	3	1	漁獲効率が悪い印象がある	0	2	0	使用には慣れが必要
再び使用したいか		2	2	0	普通網が使えない程深刻な被害時のみ使用を希望	2	2	0	操業海域でトドが見られる時のみ使用を希望する
価格の許容範囲 (対普通網費)		2倍 4	3倍 0	4倍 0		2倍 2	3倍 0	4倍 0	

表 6. 普通網および強化網における破網被害

	引張強度 (kg)	外網目合 (mm)	使用延べ 反数 (a)	身網						外網	
				解体反数 (b)	解体比率% (b/a)	特大穴数* (c)	特大穴数/反 (c/a)	穴数 (d)	穴数/反 (d/a)	穴数 (e)	穴数/反 (e/a)
2001-2002											
普通網	5-6	-	59	0	0	1	0.02	3	0.05	-	-
ダイニーマ 12本撚り	520	600	40	0	0	0	0	0	0	0	0
2005											
普通網	5-6	-	263	27	10	67	0.25	394	1.5	-	-
ダイニーマ 2本撚り	50	400	267	0	0	2	0.01	92	0.34	17	0.06
テトロン 36本撚り	50	400	263	0	0	5	0.02	94	0.36	9	0.03
ベクトラン 4本撚り	62	400	268	0	0	2	0.01	122	0.46	6	0.02
2006											
普通網	5-6	-	164	10	6	10	0.06	237	1.45	-	-
テトロン 24本撚り	34	600	164	0	0	0	0.00	68	0.41	15	0.09
テトロン 24本撚り	34	450	163	0	0	0	0.00	69	0.42	29	0.18

* 浮子網から沈子網まで広がる破網

2005年調査では、破網は普通網において394箇所見られ、強化網における身網の破網は、ダイニーマ、テトロンおよびベクトランの各々で92、94および122箇所（以下同順）であった。特大穴は普通網で合計67箇所（0.25箇所/反）見られたのに対し、強化網における身網の破網箇所は、各々2、5および2箇所（0.01、0.02および0.01箇所/反）に留まった。解体反数は普通網で合計27反発生し、これは使用延べ反数の約10%に相当した。一方、強化網において解体は発生しなかった。

2006年調査では、普通網における破網が合計237箇所であったのに対し、テトロン外網目合600mmおよび450mmで各々68および69箇所であった。特大穴は普通網で合計10箇所（0.06箇所/反）であったのに対し、強化網では各々0箇所であった。また、調査期間を通じて普通網が10反解体されたのに対し、強化網で解体に至る被害は発生しなかった。一方、強化網の外網部分の破網箇所は、各々15および29箇所であったが、いずれも小規模で補修が可能であった。

価格の許容範囲 アンケート調査で得られた「価格の許容範囲」については、「2倍」とする意見が多かった（表5）。採算性の検討では、2005年漁期を通じて普通網使用反数の約10%が解体された（表6）。このことから、普通網の1年当たりの交換反数 r_1 を108.8反/年（32反/回 \times 0.1 \times 34回/年）とした。また、最初に購入する

普通網も108.8反が必要であり、これを普通網の初期購入反数とした。一方、強化網の身網に解体は発生しなかったため（表6）、1回当たりの身網交換反数 r_2 を64反/回（敷設32反のほか揚網直後に投網する替えの32反、計64反）、初期購入反数も64反とした。その結果、各強化網を導入した際に発生する初期投資額 AI は、ダイニーマ、テトロンおよびベクトランで各々262.7、95.0、293.7万円となった（表7）。また、普通網の交換間隔 n_1 を1年、耐用年数 n_2 年毎に強化網身網の交換を行う場合として（3）式を用い、 $n \geq n_2 \geq 1$ の範囲で耐用年数 n_2 を変化させた結果を図5に示した。ダイニーマおよびベクトランでは、耐用年数 n_2 が1年の場合、初期投資の回収には約20年を要した（図5）。耐用年数 n_2 を2年とすると回収に必要な年数は40%程度減少したが、その後3年以降の減少は僅かであった。強化網身網の耐用年数 n_2 を無限もしくは身網交換反数 r_2 を0とした時、回収に必要な年数はダイニーマで8.0年、ベクトランでは8.9年に収束した。テトロンにおいては、身網耐用年数 n_2 が1年の場合初期投資の回収に7年を要したが、2年では40%程度減少し、収束値は2.9年であった。

考 察

CPUE かれい類のCPUEは、テトロンでは2005年クロガシラガレイCPUEで普通網に比べ有意に高く、こ

表 7. 強化網導入に伴う初期投資額

	普通網	ダイニーマ 1600d2本	テトロン 250d24本	ベクトラン 1500d4本
購入反数(反)	108.8	64	64	64
普通網/身網 単価(円)	3,036	3,036	3,036	3,036
小計(円)	330,317	194,304	194,304	194,304
強化網外網 単価(円)	0	43,165	16,975	48,015
小計(円)	0	2,762,560	1,086,400	3,072,960
合計(円)	330,317	2,956,864	1,280,704	3,267,264
初期投資額(Δ)(円)	-	2,626,547	950,387	2,936,947

他の強化網においても同等もしくはより高い結果が得られ、強化網の実用上問題にはならなかった(表4)。その要因として、強化網の破網数が普通網に比べて少なかったこと(表7)および強化網の三枚網構造が寄与した可能性が考えられる。刺網による漁獲は「刺し」および「絡み」によって行われ、クロガシラガレイなどの異体類では絡みを中心である¹⁶⁾。三枚網は普通網の刺しに加えて絡みを多く発生させ、優れた漁獲効率を有することが知られている¹⁷⁾。また、このような漁獲機構の違いは、サイズ選択性に影響する可能性がある。例えば、コノシロ *Clupanodon punctatus* およびサツパ *Herklotsichthys zunasi* など紡錘形の魚では、三枚網で漁獲された個体の体長範囲は普通網に比べて広い場合がある¹⁸⁾。しかし、本試験操業において強化網で漁獲されたマガレイの体長組成は普通網と差がなく(図4)、乱獲の原因となる小型個体の選択的な漁獲の傾向は認められなかった。絡みを中心とする漁獲機構が普通網と三枚網において共通であった可能性が考えられる。

操作性 強化網の揚網は普通網に比べて1.5倍の時間を要した。普通網40反を全て強化網に変えた場合、揚網時間は60分から90分へと増加することが予想された。これは12本撚りダイニーマ繊維による網糸直径が2.0mmと太かったため(表1)、揚網機ドラムの溝に収まり難く、網の滑りが発生したことによる。揚網機ドラムの噛み具合が問題視されたのは、外網の網糸直径が1.4mm以上のダイニーマ12本撚りおよびテトロン36本撚りであったが、これより細かい網糸直径では良好とされた。漁場への移動時間が5～数十分程度と比較的短い沿岸での操業において、揚網は全操業時間に占める割合が大きい。ため、1.5倍の差異は普及に向けての欠陥となり得る。また、テトロンではより細かい網糸直径であった20本および24本撚りにおいても、網容積の増大と吸水後の重量増加が大きく問題視され、「漁業者1名による単独操業では使用不可能」との意見もあった。2006年、北海道庁が行ったかき刺し網強化網試験によると、網の反当たり湿重量は普通網が7.4kgであったのに対し、ダイニーマ2本撚りは12.0kg、テトロン20本撚りでは15.6kgに達した。また、操業の漁網運搬に使用するカゴに普通網が5反収容可能であったのに対し、強化網はいず

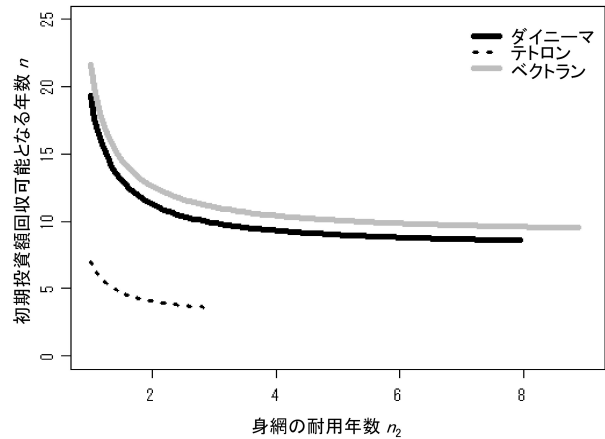


図 5. 初期投資額回収に必要な年数と身網耐用年数
網地単価および操業条件等は2005年試験操業結果を用いた ($n \geq n_2 \geq 1$)

れも3反しか収容できなかった¹¹⁾。このため、各網の1カゴ当たりの浸漬後重量は、普通網37.0kg (7.4kg×5反)、テトロン46.8kg (15.6kg×3反) およびダイニーマ36.0kg (12.0kg×3反) となり、テトロンが極端に重い。ダイニーマ繊維は吸水性が極めて低い¹³⁾一方、テトロン繊維はケトン基を含む構造のため親水性を有し、吸水による重量増加が避けられない。これは容積増加によるカゴ数の増加(1.6倍)と共に、荷揚げ運搬作業を少人数あるいは単独で行う特に高齢の漁業者にとって重大な問題となり、複数の試験操業地域で普及の可能性は低いと指摘された¹¹⁾。一方、投揚網時の操作性に関しては、ダイニーマ2本撚りが「優れて」と評価された。

被害防除効果 普通網は1漁期を通じた使用で使用反数の6～10%が解体されたのに対して強化網身網の解体は発生しなかったことから、激甚な破網被害を防除するうえで高い効果を有することが確認された。また、強化網における反当たりの身網破網数は普通網の1/4～1/3程度(強化網:0.34～0.46個/反, 普通網:1.45～1.50個/反)であったのに対し、特大穴数は普通網で0.10～0.25個/反に対し強化網で0.01～0.02個/反と1/10程度であった。これらのことから、強化網は網の解体に至る特大穴の発生を大幅に減らすことにより漁業被害を軽減可能と考えられた。このような被害防除効果は、漁網の損失に限らず、破網によるCPUEの低下の防止および操業機会の損失を防ぐことにも寄与すると考えられる。

ただし、この被害防除効果が得られた理由は明らかでない。本研究における破網状況と、トドの胃中より最大径20～200cmの刺網が出現した知見*および傷の付いた漁獲物やその頭部のみが刺網に残されていた事実¹⁹⁾から、トドによる刺網被害に至る過程として、以下が考えられる。即ち、1) 刺網敷設面に対しトドが突き抜け

る形で網ごと略取し特大穴を発生させる、2) 突き抜けないものの、ついでむように網地ごと漁獲物を摂食し、小～中型の穴を発生させる、3) 漁獲物のみを摂食するものの、破網は発生しない等である。本研究で強化網により特大穴の発生が抑えられたことから、強化網は1)の行動に制限を与えたと考えられる。目合 400mm および 600mm の外網を通過可能な外周はそれぞれ 800mm 以下および 1,200mm 以下である。トドの肩部における周囲長は幼獣 (0～2 才) 平均値でメス 984mm およびオス 1,218mm であり*、今回使用した外網を破網しない限りトドは通過できない。また、目合 400mm と 600mm では、反当たり特大穴数はほぼ同一であった (表 6)。目合の拡大は重量、嵩および価格の低減につながるため、外網目合として 600mm が最適と考えられた。一方、強化網の構造上 2) および 3) の発生を完全に抑止するのは困難である。ただし、強化網では反当たりの身網破網数が普通網に比べて 1/4～1/3 に減少しており、この被害防止効果が得られた機序の解明は今後の課題として残された。

また、強化繊維網糸の引張強度が高い程、強化網身網における特大穴数は少なかった。すなわち、特大穴数の対普通網比は、引張強度 50kg 以上で 3～7%、引張強度 34kg で 13～25% であった。このため、網の解体に至る大規模な破網を防止するためには、外網の引張強度を 50kg 以上とすべきである。ただし、強度と経済性はトレードオフ関係にあり、網糸直径を太くした場合価格は上昇し、操作性は低下する (表 2, 5)。そのため、導入にあたっては漁業者自らが仕様を決定するのが望ましい。

価格の許容範囲 アンケート調査の結果、漁業者が自ら購入を希望する価格の限界は普通網の 2 倍程度であった (表 5)。普通網の網地 1 反当たりの価格が 3,036 円であったのに対し、2005 および 2006 年に用いたダイニーマ、テトロンおよびベクトランの外網の価格は、各々 4.3、1.7 および 4.8 万円であり (表 2)、「2 倍程度」からは大きな差がある。また、身網の耐用年数を変化させることで採算性を検討した結果、初期投資額回収可能となる年数 n の収束値は、ダイニーマおよびベクトランで 8～9 年、テトロンで約 3 年であった。これは、強化網外網がこの期間耐用し、かつこれと同年数身網交換を行わない場合である。本試験操業において、解体に至る特大穴の発生は抑えられたが、合計 68 から 122 個の破網が身網で見られた (表 6)。また、身網に用いるナイロン繊維は紫外線による経年劣化も受けやすいことから、漁業被

害を受けなかった場合でも通常 3～4 年程度で交換されている。従って、被害防除効果が比較的高かったダイニーマおよびベクトランを外網に使用した場合でも身網の交換は必要であり、現状では実用性に乏しいことが明らかになった。一方、テトロンは比較的安価であったため少ない年数で採算が取れる結果となったが、北海道庁が行った試験操業において「耐久性がないため 2 年しか使えない」との意見がテトロンを継続使用した漁業者から挙げられた¹⁰⁾。ただし、ここで行った採算性の検討では、強化網による漁網の損失防止のみに着目し、強化網身網の耐用年数が延びる効果を検討した。強化網には破網による CPUE 低下防止および操業機会の損失を防止する効果もあるが、これらの点については評価していない。前者の差は僅かであったが、後者については、破網被害により出漁を断念している漁業者にとって有効な手段になる可能性があり、これらの評価は今後の課題として残された。

まとめ テトロン繊維は他の強化繊維に比べて初期投資額を少ない年数で回収できると試算され、かつ高い CPUE が見られた調査年もあった。しかし、浸漬後の重量増加および低い耐久性が実用するうえで致命的な欠陥となった。このため、当調査においてテトロンは強化網繊維として不適切と結論付けられた。ベクトランは操作性および価格でダイニーマに劣った。一方、ダイニーマ 2 本撚りを用いた強化網の被害防除効果は高く、CPUE と操作性も実用に耐え得る性能を有した。しかし、高額の価格が導入に当たっての障壁となるため、普及実用化に際しての課題として残された。強化網の低価格化には、網糸直径を細くすることがある程度有効であるため、ダイニーマによる網糸直径を更に細くしてみることも有用かもしれない。しかし、被害防除性能と網価格はトレードオフの関係にあり、低強度、軽量な外網は廉価で操作性に優れるが、被害防除性能は低くなる。強化網の普及実用のためには、被害発生機序および強化網による被害防止機序を明らかにするとともに、漁場現場で求められる防除性能と価格を勘案しつつ、更なる低価格化の方策を探索する必要がある。

謝 辞

強化刺網の試験操業にあたっては、多くの漁業者および漁業協同組合、水産普及指導所の御協力を戴いた。特に、石狩湾漁協浜益支所の和田郁夫氏、門脇習也氏、門脇 弥氏、菊池政雄氏、藤川 彰氏には、開発初期から

* 後藤陽子・和田昭彦・前田圭司・三橋正基・磯野岳臣・山村織生 (2010) 胃内容物中に出現した漁網からみたトドによる漁業被害。日本水産学会大会講演要旨集 (秋季)。p.105

* 磯野岳臣 (2000) トド *Eumetopias jubatus* の成長様式、成長量の経年変化および地理的変異に関する比較形態学的研究。北海道大学大学院水産学研究科博士論文。p. 123

多くの御助言と御協力をいただいた。また、北海道庁水産林務部は試験結果の公開を快く許可してくださった。二人の査読者からは有益な助言およびコメントを頂いた。本研究は、水産庁委託国際資源評価等推進事業および全漁連委託有害生物被害軽減実証事業の一環として行われた。

文 献

- 1) HOSHINO, H., T. ISONO, T. TAKAYAMA, T. ISHINAZAKA, A. WADA, and Y. SAKURAI (2006) Distribution of the Steller sea lion *Eumetopias jubatus* during winter in the northern Sea of Japan, along the west coast of Hokkaido, based on aerial and land sighting surveys. *Fish. Sci.*, **72**, 922-931.
- 2) 服部 薫 (2008) 漁業被害問題. トドの回遊と消長. 「日本の哺乳類学 3 水生哺乳類」(加藤秀弘編) 東京大学出版会, 東京, 254-280pp.
- 3) 北海道水産林務部 (2009) 平成 20 年度トドによる被害状況. 札幌, 1p.
- 4) 独立行政法人水産総合研究センター (2006) トド被害対策試験. 平成 17 年度海洋生物混獲防止対策調査事業報告書 (部内資料), 78-85pp.
- 5) 独立行政法人水産総合研究センター (2011) 自動撮影カメラによる上陸場観察 (北側斜路・磯谷). 平成 22 年度全漁連委託事業有害生物被害軽減実証事業 (トド) 調査報告書 (部内資料), 15-22pp.
- 6) 独立行政法人水産総合研究センター (2008) 浜益現地聞取り調査. 平成 19 年度水産庁委託事業国際資源調査等推進対策事業トド資源調査事業報告書 (部内資料), 65-68pp.
- 7) 北海道水産林務部 (2009) とど被害防止対策の取組み, 札幌, 1p.
- 8) 北海道水産林務部 (2004) 平成 15 年度とど被害防止漁具実証事業報告書, 札幌, 22p.
- 9) 北海道水産林務部 (2005) 平成 16 年度とど被害防止漁具実証事業報告書, 札幌, 20p.
- 10) 北海道水産林務部 (2006) 平成 17 年度とど被害防止漁具実証事業報告書, 札幌, 17p.
- 11) 留萌支庁 (2006) 平成 17 年度とど被害防止漁具実証事業報告書, 留萌, 12p.
- 12) 大田康雄 (1998) 高強度ポリエチレン繊維の機能と用途展開. 繊維学会誌, **54**, 8-11.
- 13) 大田康雄 (2010) 高強度ポリエチレン繊維「ダイニーマ®」. 繊維学会誌, **66**, 91-97.
- 14) 頼光周平 (2010) ポリアリレート繊維 (その特性と用途). 繊維学会誌, **66**, 86-90.
- 15) R Development Core Team (2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 16) 横山信一・西内修一・丸山秀佳 (1998) クロガシラガレイに対するカレイ刺網の網目選択性. 日本水産学会誌, **64**, 979-986.
- 17) 中村秀男・川崎毅一 (1959) 三枚網 (Trinal Gill Net) の漁獲試験に就いて. 北海道大学水産学部研究彙報, **10**, 123-130.
- 18) 小池 篤・松田 皎 (1988) 三枚網の内網のたるみ, 内網の網目の変化と漁獲. 日本水産学会誌, **54**, 221-227.
- 19) 独立行政法人水産総合研究センター (2005) 地域漁業影響調査. 平成 16 年度水産庁委託事業国際資源調査等推進対策事業トド資源調査事業報告書 (部内資料), 108-118pp.