

さめ類の漁業生物学的調査用縦延縄の開発

上嶋紘生¹⁾* · 生井沢知佳¹⁾ · 戸高耀介^{1), 2)} · 塩崎航¹⁾ · 藤波裕樹³⁾ ·
宮崎唯史¹⁾ · 塩出大輔¹⁾ · 根本雅生¹⁾

Development of a vertical longline for fisheries biological studies on sharks

Hiroki JOSHIMA¹⁾*, Chika NAMAIZAWA¹⁾, Yosuke TODAKA^{1), 2)}, Ko SHIOZAKI¹⁾, Yuki FUJINAMI³⁾,
Tadashi MIYAZAKI¹⁾, Daisuke SHIODE¹⁾ and Masao NEMOTO¹⁾

Abstract: We newly developed a fishing gear Vertical Longline for Sharks (VLS) to effectively study the depth distribution of sharks, and compared its efficiency with that of horizontal longlines. This gear consists of a main line (245 m), branch line (5 m each), and galvanized iron hooks (13 pcs). Trial operations with VLS were conducted monthly in Sagami Bay from July 2014 to February 2016 using RT/V Seiyō Maru (170 t) of Tokyo University of Marine Science and Technology. The problems of VLS were twisting of the main line and the branch lines, which often caused tangling to each other. Making major adjustment 5 times through 20 trial operations, we reduced the rate of the branch lines' tangling by 16% and improved the working efficiency of VLS. Based on the results, we discussed the causes of (1) the main line's twisting and (2) the branch lines' tangling. Catch per unit effort (CPUE: number of sharks captured per 1,000 hooks) of VLS was 9.7, showing the fishing efficiency was comparable to horizontal longlines conventionally operated in Sagami Bay. To be noted is that Shortfin mako shark was captured for the first time during the operation in January 2015, and eventually 6 sharks in total by February 2016.

Keywords: vertical longline, shark, Sagami Bay, RT/V Seiyō Maru

1) 国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院
〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7
Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan.

2) 日本マントルクエスト株式会社
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 2-4-3
ユニゾ堀留町二丁目ビル 5F
Mantle Quest Japan Company Ltd., 2-4-3 Nihonbashi horidome-cho, Chuo-ku, Tokyo 103-0012, Japan.

3) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 国際水産資源研究所
〒424-8633 静岡県静岡市清水区折戸 5-7-1
National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka 424-8633, Japan.

*連絡著者：上嶋紘生

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院

E-mail : joshima@kaiyodai.ac.jp

1. はじめに

さめ類は、主に延縄によって漁獲される。鰭が食材として特に珍重され、魚肉もすり身のほか、医薬品、革製品、化粧品など多方面に利用可能であり、重要な水産資源である。一方で、希少な野生動物として保護の対象となっている。ワシントン条約 (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES = 絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約) 付属書Ⅱに掲載され国際取引が規制されるさめ類の種数は増加傾向にあるが、国際自然保護連合 (International Union for Conservation of Nature: IUCN) レッドリストは、さめ類の資源状態を判断するには情報不足の種が多いと指摘している。この指摘は、さめ類の資源や生態に関する情報を補うには時空間的に広く頻度の高い調査が必要であることを示している。水産生物の生態を理解するためには、生息域から生体標本を採取し、体長・体重測定、種の判別や成長段階の確認、年齢査定などの科学的な調査が必要であることは自明である。このような調査では、生息海域や深度なども重要な情報である。

ヨシキリザメ (*Prionace glauca*) は、日本で最も水揚量の多いさめである。本種の北太平洋における回遊モデル (中野, 1994) によると、日本近海は 20–30°N で交尾した雌が出産のために北上する際に通過する緯度帯に位置する。北太平洋北部に生息する幼齢個体については、未成魚期に雌雄は生息域の分離傾向を強めるが、成魚は赤道域から 40°N まで広く分布する。この中野 (1994) の研究は、北太平洋での本種の漁獲データを解析したものである。しかし、相模湾のような沿岸域ではデータがなく、生態は明らかになっていない。

そこで我々は、さめ類の漁業生物学的調査のため、東京海洋大学の研究練習船青鷹丸 (170 t) を用いて 2011 年度から相模湾で浮延縄試験操業を行ってきた (根本ほか, 2014; 戸高ほか, 2014) が、漁具の敷設深度の推定が容易ではないことが問題として挙げられた。漁具の水中形状の推定には、敷設した縄がカタナリー (懸垂線) 状となることを仮定して漁具の深度を計算する方法や、漁

具に深度計を取り付けて釣針の深度を計測する方法がある (水野ほか, 1997; Mizuno *et al.*, 1998)。しかし、すべての釣針に深度計を取り付けることはできないこと、および、ふかれ (漁具が流れを受けて敷設深度が浅くなること) の影響を考慮して漁具の三次元的形状を解析する必要があることから、浮延縄操業によって漁具形状を正確に把握し釣針の敷設深度を高精度に得ることは困難であった。一方、釣針の敷設深度の推定精度が向上すれば、調査対象魚種の鉛直分布の理解、さらに生息深度と水温や塩分などの環境要因との関係の解明につながると期待される。

そこで本研究では、縦延縄によるさめ類の鉛直分布調査のために、多数の釣針を敷設できる漁具を新たに開発した。縦延縄漁業は、立縄釣漁業ともいわれ、一端を浮子で海面上に保持し海中で垂直に立つようにした釣り漁具を用いる (金田, 1995)。縦延縄漁具と浮延縄漁具の違いは、浮子に浮縄を通じて繋げられた幹縄を上下に敷設する点である。縦延縄の幹縄には、浮延縄と比べて多数の枝縄が取り付けられる (Fig.1)。

斉藤 (1992) は、縦延縄の利点として、(1) 流れを受けてもふかれにくいこと、(2) 投縄方法 (船速、投入手順など) に関係なく望む深度に釣針を敷設できることを指摘している。山口 (2011) は、縦延縄操業によってかじき類の生息深度を測定し、小笠原近海域のメカジキ (*Xiphias gladius*) は、500 m 以深に生息すること、および、針掛かり後に鉛直移動することを示した。このように、縦延縄は調査対象魚種の遊泳層や鉛直移動を知るために有用な漁具である。しかし、縦延縄の欠点として、絡みが多く揚縄作業に時間がかかること、および、海面に浮いた浮子の一つ一つ回収するために揚縄時の操船に時間がかかることが挙げられる。これらの問題を解決し、さめ類を対象とした縦延縄操業の作業効率を向上させるため、2014 年 7 月から 2016 年 2 月の期間に 20 回の試験操業を行った。

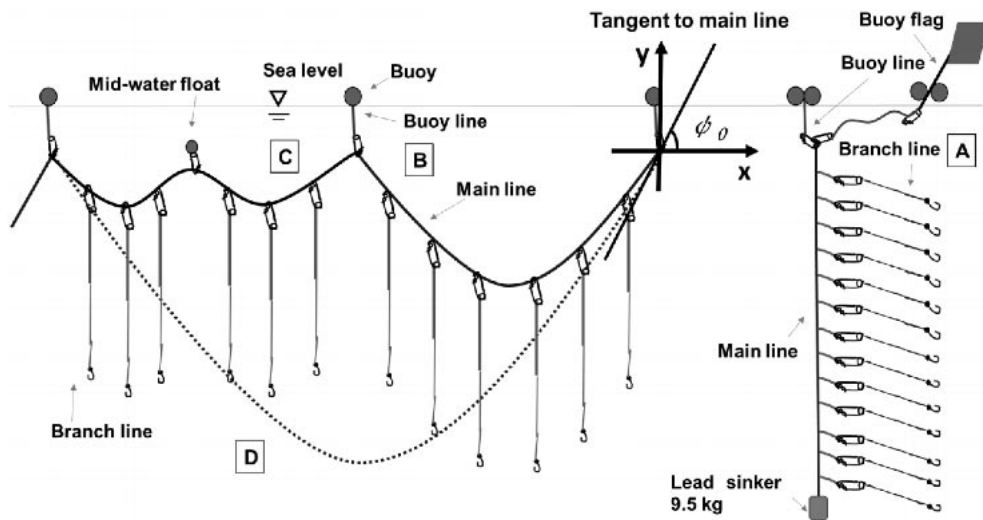


Fig. 1 Vertical and horizontal longline at RT/V Seiyō Maru.

A: Vertical longline. Main line: 245 m, branch line: 5 m, the distance between 2 branch lines: 17.5 m. Each vertical longline is connected with buddy line of $245 \text{ m} \times 3 (= 735 \text{ m})$ to the top of main line. B: Ordinary longline. Main line: 245 m, the distance between 2 branch lines: 35 m. C: Longline with mid-water float. Main line: 245 m, the distance between 2 branch lines: 30.6 m. D: Deep longline. Main line: $245 \text{ m} \times 2 (= 490 \text{ m})$, the distance between 2 branch lines: 35 m. We set the x-axis to the horizontal, and the y-axis to the vertical. The angle of tangent of the main line at $(x, y) = (0, 0)$ is ϕ_0 .

2. 材料と方法

2.1 縦延縄漁具の構成

さめ類を対象とした縦延縄漁具を新たに開発するにあたり、青鷹丸（東京海洋大学の研究練習船；170 t）が相模湾で使用しているまぐろ・さめ類対象の浮延縄漁具を参考とした（Fig. 1B）。この浮延縄漁具の構成は、1鉢あたりの幹縄長 $\phi 6.4 \text{ mm} \times 245 \text{ m}$ ビニロンロープ（三撚り，Z撚り），枝縄長 20 m（ビニロンロープ 10 m + ナイロンコード 8 m + カナヤマ 2 m），浮縄長 5 m， $\phi 30 \text{ cm}$ の浮子（浮力 118.50 N，耐圧 300 m）である。さめ類を対象とした漁具は、枝縄の素材にテグスではなくワイヤーを使用しており，強度に優れ，さめの歯によって切断されにくい特徴がある。新漁具の幹縄にも，青鷹丸の浮延縄漁具と同様に 1鉢あたりの幹縄長 $\phi 6.4 \text{ mm} \times 245 \text{ m}$ のビニロンロープ（三撚り，Z撚り）を用いた。針を深場に敷設する場合には，上記の幹縄を鉛直方向に連結

した。青鷹丸の浮延縄操業においては 1鉢に 2尾以上のさめ類が掛かると浮子が引き込まれて沈むことがあるため，新漁具では浮延縄用の浮子 2個（ $\phi 30 \text{ cm}$ ）を 1組として使用した。

2.2 縦延縄漁具の改良

2014年7月製作のプロトタイプによる試験操業では，92%の枝縄が幹縄に絡み，漁獲は全くみられなかった。これは，ワイヤーの比重が大きいため幹縄が垂れ下がり枝縄に接近しすぎていたためと考えられた。特に揚縄時に，強い張力による伸張で回転する幹縄に枝縄が絡んだ。漁業者が「ビリ巻き」と呼ぶ現象である。ビリ巻きが起ると，絡みの取り外しと，傷ついた漁具の補修に時間がかかる。縦延縄操業を継続的に行うためには，このような負担の低減が望まれる（Fig. 2）。

ビリ巻きの発生する様子を船上で撮影して観察したところ，幹縄が水面から上がった後に空中で

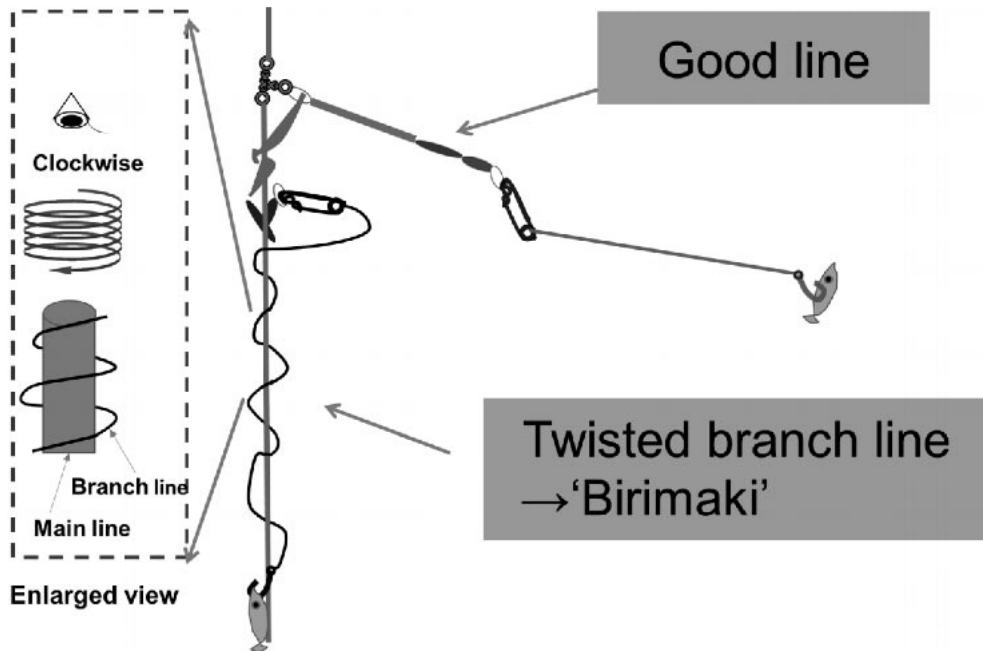


Fig. 2 Twisted branch line 'Birimaki' and its enlarged view. Branch line forms spiral shape and rotates around in a clockwise direction.

回転して枝縄が巻き付いていた。この時、枝縄が幹縄に絡みつく方向はほぼ同じであり、船上から揚縄中の幹縄を見下ろした方向に対して反時計回りであった (Fig. 2, 拡大図)。これ以外に、水中で枝縄がより複雑に絡む場合 (例えば、釣針と餌が幹縄に絡むこと) もあった。そこで、絡みを防ぎ作業時間を短縮するために、以下の5段階で投縄方法や漁具構成を改良した (Table 1, ver. 1.0 から ver. 5.3)。これらを順に説明する。

(1) 柔軟性のある天秤の製作と採用 (Table 1, ver. 2.0)

斉藤 (1992) は、天秤による絡み対策の有用性を指摘しながらも、ラインホーラーでの巻取りの作業性には改善の余地があると指摘していた。すなわち、一般的な金属製の天秤は、幹縄をラインホーラーで巻き取る際に破損する可能性があった。そこで本研究では、破損しにくい柔軟性のある天秤を製作した。

まず、撚り取りのために、幹縄と枝縄の接続部

にシルバー双葉親子サルカン (小野金属工業, 2×2) を取り付けた。破断力は 3.1 kN と強固であり、まぐろ浮延縄操業でさめ類を漁獲している実績がある。天秤の腕部分として、シルバー双葉親子サルカンに三撚り (Z撚り) ビニロンロープ φ4 mm を取り付けて、スナップが容易に掛けられるように末端をアイ加工した。さらに、ロープ形状の矯正を目的としてウレタンエアホース (内径×外径: 8.5 mm×12.5 mm) 30 cm を上記のビニロンロープに被せた (Fig. 3)。ウレタンエアホースとフタバ親子サルカンを繋げるために、接着剤付きの熱収縮チューブ (Raychem, MWTM25/8) を 4 cm に切断して熱を加えて接着し、接続部を強固にして天秤の腕が立ちやすくなるようにした。天秤先端のアイには枝縄のスナップ (空中重量 60 g) が繋がるため、操業時に水中で中性浮力になるように浮力 30 g または 32 g の浮子 (ジェントル, GT-3P または GT-4) を取り付けて浮力を調整した。

Table 1. History of fishing gear improvement from ver. 1.0 to ver. 5.3.

Fishing gear version	Main line length (m)	Spreader bar	Branch line					
			Number per main line	Interval (m)	Nylon cord (m)	Kanayama (m)	PVC float	Hook size (sun)
1.0	490	—	6	35.0	8	2	—	4.0, 3.0
1.1	490	Pair swivel	6	35.0	8	2	—	4.0, 3.0
2.0	245	yes	12	17.5	—	2	—	4.0, 3.0
3.0	245	yes	12	17.5	—	5	—	4.0, 3.0
4.0	245	yes	12	17.5	—	5	GT-3P	4.0, 3.0
4.1	490	yes	13	17.5	—	5	GT-3P	4.0, 3.0
5.0	490	yes	13	17.5	—	5	GT-3P, GT-1	4.0, 3.6, 3.0
5.1	490	yes	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6
5.2	490	yes	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6
5.3	490	Spreader bar, swivel	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6

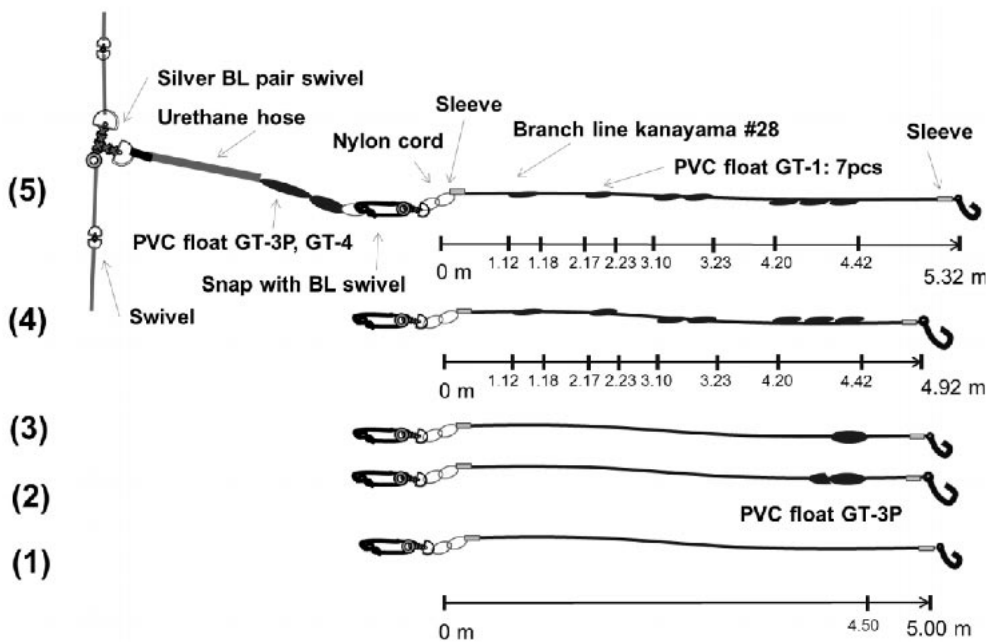


Fig. 3 Buoyancy controlled spreader bar is a soft, tough, and easy handling device. The spreader bar consists of silver BL pair swivel, rope, urethane hose, heat shrink tube and PVC float. Rope is connected to snap and silver BL pair swivel through the inside of urethane hose, and the rope to be straight along the urethane hose sleeve. Snap and spreader bar were adjusted to obtain neutral buoyancy with PVC float. Breaking strength of the pair swivel is 3.1 kN, being enough for shark fishing in Sagami Bay.

- (1) Length 5.00 m, no float, hook with ring: size 3.0 sun \approx 0.09 m, 3.6 sun \approx 0.11 m, 4.0 sun \approx 0.12 m
- (2) Length 5.00 m, PVC float GT-3P: 1.5 pcs, hook with ring: size 4.0 sun
- (3) Length 5.00 m, PVC float GT-3P: 1 pcs, hook with ring: size 3.6 sun
- (4) Length 4.92 m, PVC float GT-1: 7 pcs, hook with ring: size 4.0 sun
- (5) Length 5.32 m, PVC float GT-1: 7 pcs, hook with ring: size 3.6 sun \approx 0.11 m

*1 sun = 30.3 mm

(2) 枝縄長の調整 (Table 1, ver. 3.0)

本漁具には、針掛りした深度を効率よく調べるために、多数の枝縄を絡みを防ぎながら等間隔に取り付ける必要があるため、枝縄を最適な長さに調整した。青鷹丸の船首乾舷は4 mと高いため、枝縄が短いと漁獲物を取り込む際に宙吊りになる。一方、本船の船尾甲板は漁獲物を取り込む十分なスペースと電動ウインチ類が備えられているので、乾舷の高さ(4 m)とハンドレール高さ(1 m)を考慮して漁獲物を船尾まで取り回す必要がある。5 mは、これらの条件を考慮した必要最低限の枝縄長である。

(3) 釣元付近への浮子の追加 (Table 1, ver. 4.0)

枝縄が流れを受けて水平方向に広がりやすくなるように、枝縄にも浮子を取り付けて浮力を与え調整した。具体的には、浮力30 gの浮子(GT-3P)を釣元から50 cmの箇所に取り付けた(Figs. 3-2, 3-3)。

(4) 釣元ワイヤーと釣針の浮力の中立化 (Table 1, ver. 5.0)

枝縄が流れの影響を受けて伸張しやすくするために、枝縄全体の浮力が中立となるように、ワイヤー長と釣針の重量に応じた浮子を取り付けた(Figs. 3-4, 3-5)。枝縄ワイヤーの空中重量が1 mあたり10 gであることから、浮力10 gの浮子(ジェントル, GT-1)を約1 m間隔で取り付けた。2種類の釣針(4寸20 gと3.6寸16 g)の重量の違いに応じ、浮子取り付けのワイヤー間隔を微調整して枝縄全体を中性浮力にした。

(5) 幹縄へのサルカン取り付け (Table 1, ver. 5.3)

幹縄の撚りを抑制するため、2015年11月以降は幹縄の天秤取り付け位置(フタバ親子サルカン)の上下50 cmの箇所にステンレスサルカンを一個ずつ取り付けた。

以上のように製作した漁具を、英語の Vertical Longline for Sharks の頭文字から「VLS」と命名した。以後、本論文ではVLSと称する。

2.3 試験操業方法

試験操業は、相模湾中央部のS1-S4で囲まれた範囲で実施した(Fig. 4)。投縄作業は、2014年9月(VLS ver. 1.1)には、船を停止した状態で錘から漁具を投入していたが、絡みが多かったことから2014年12月(VLS ver. 3.0)より、航走しながら大旗や浮子を投入し、最後に錘を入れる方式に変更した。幹縄に17.5 mごとに取り付けてある天秤の先端のアイにスナップで枝縄を付け、最後に錘を投入して投縄作業が終了する。投縄船速は約3 ktに定めた。餌は主に冷凍さば(150-250 g)を、3寸または3.6寸の鉄製(亜鉛メッキ)ムツ針と4寸の鉄製(亜鉛メッキ)ネムリ針に取り付けた。錘には9.5 kgの鉛を用いた。漁具の浸漬時間は2-5時間であった。

2015年2月(VLS ver. 4.1)以降の操業では、鉛直方向に幹縄を2鉢(全長490 m)連結したものを4組分、それぞれA, B, C, Dと名付けて合計で8鉢相当の漁具を用意した。この2鉢ごとに4回の投縄作業を行う際には、揚縄時の操船を容易にするため、それぞれの縦延縄漁具は枝縄を取り付けていない幹縄(空縄)3鉢(245 m × 3 = 735 m)で繋いだ。投縄時の船尾の配置としては、中央左舷側を枝縄取り付けと餌投げ、中央部を幹縄投げ、右舷側を空縄と浮子投入とした。なお、相模湾は中西部太平洋まぐろ類委員会(Western and Central Pacific Fisheries Commission: WCPFC)の管理下にあり、延縄漁業の海鳥偶発捕獲に関する規制として混獲回避策をとることが求められている。縦延縄では枝縄長が5 mと短く、投縄時に投餌機を使用しないため、釣針がプロペラ後流による吹上げの影響を受ける範囲に投下され、初期沈降速度が遅くなる恐れがある。混獲防止対策としてビニロンロープにPP(ポリプロピレン)バンドを取り付けた鳥よけライン(清田・横田, 2010)を使用して、釣針が鳥よけラインの範囲下で着水して沈降するようにした。本研究の試験操業においては、海鳥の混獲は一度もなかった。

揚縄作業は、船首右舷側に設置されたラインホーラー(泉井鐵工所, 2S-4CA, 低巻上げ速度109 m/min)により行った。幹縄は、ハンドレール

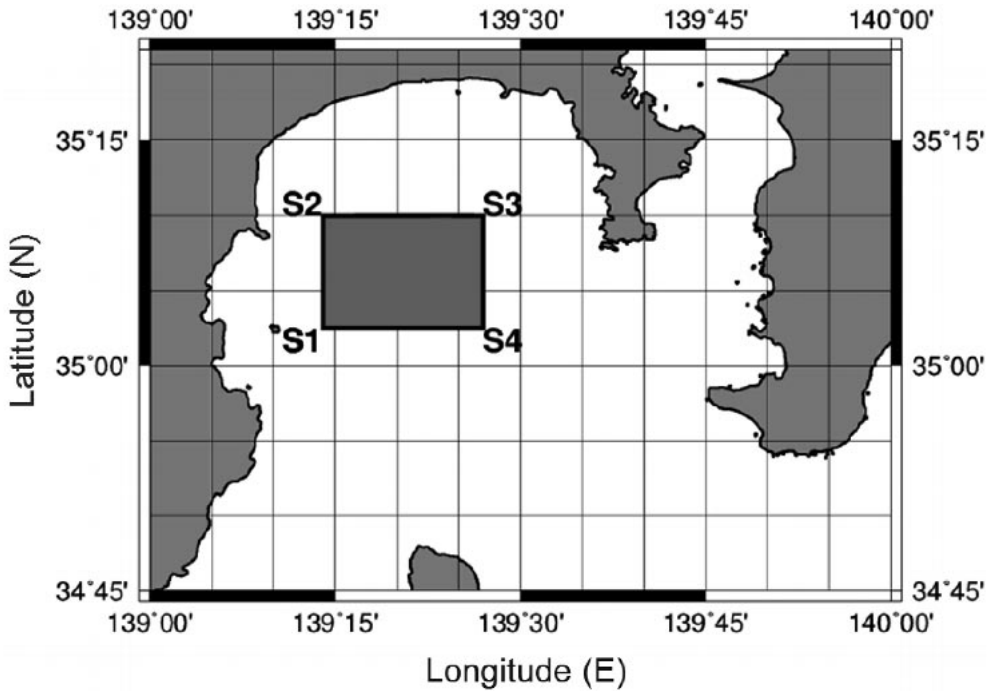


Fig. 4 Fishing survey ground in Sagami Bay.

S1: 35°02.5'N/139°14.0'E, S2: 35°10.0'N/139°14.0'E,

S3: 35°10.0'N/139°27.0'E, S4: 35°02.5'N/139°27.0'E.

ルに取り付けたサイドローラーを通り、ラインホーラーに巻かれる手前でブレーキをかけて一度停止させた。その際に枝縄のスナップを取り外し、天秤を持ちながらゆっくりとラインホーラーを通過させた。幹縄から取り外された枝縄は手作業でコイルして籠にまとめて収納した。

3. 解析方法

3.1 CPUE

本研究では、浮延縄と縦延縄の釣獲率を比較するために、釣針 1,000 本（漁獲努力量）あたりの漁獲量（尾）を用いて、それぞれの CPUE を算出した。なお、本研究における CPUE とは、一般的には Nominal CPUE として区別されるものである。漁場、漁具、季節による要素を含む指標であるが、以後は Nominal CPUE のことを CPUE と称する。

3.2 延縄漁具の敷設深度

幹縄が水中でカタナリー（懸垂線）状をなすと仮定した場合、全長 $L = 2\ell$ (m) の幹縄が短縮率 k として、 $(n-1)$ 本付けの幹縄の j 番目の枝縄の位置 (x_{n-j}, y_{n-j}) は、下記の式 (1) (2) で求められる（吉原, 1951）。

$$x_{n-j} = (\ell \times \cot \phi_0) \times \cosh^{-1} \sqrt{1 + \tan^2 \phi_0 (1 - 2j/n)^2} \quad (1)$$

$$y_{n-j} = \ell \sqrt{(1 - 2j/n)^2 + \cot^2 \phi_0} \quad \text{ただし } j \leq [n/2] \quad (2)$$

ここで、 x と y はそれぞれ水平軸と鉛直軸である。 y_{n-j} が j 番の枝縄の敷設深度である。浮縄と幹縄の連結点である $(x, y) = (0, 0)$ の点における幹縄の接線が x 軸となす角度 ϕ_0 は、 k に依存して算出される（Fig. 1D）。

青鷹丸の浮延縄漁具は、通常は幹縄 1 鉢あたり枝縄 6 本付け（Fig. 1B）とするが、指定した場所

10 鉢相当においては、それぞれ2 鉢ごとに浮子を入れて枝縄 12 本付け (Fig. 1D) の深縄とした。他の 15 鉢は 7 本付けの幹縄を用い、中間の 4 枝目には枝縄の代わりに中立ブイ (Shiode *et al.*, 2005) を取り付けて (Fig. 1C), 合計で枝縄 6 本付け 40 鉢相当の漁具構成とした。したがって、枝縄 6 本付けの通常縄の場合では $n = 7$, $L = 245$ m, 深縄の枝縄 12 本付けの場合では $n = 14$, $L = 490$ m となる。そこで、青鷹丸の浮延縄漁具について短縮率 $k = 0.5, 0.7, 0.9$ における通常縄と深縄の釣針の敷設深度について、(2) 式の計算値に枝縄長 20 m を加えると、釣針の敷設深度は通常縄では 47–122 m, 深縄では 47–211 m となる。VLS では、枝縄取り付け部である天秤の位置を基準とすると、釣針の敷設深度は 22.5–477.5 m の範囲にあると推定される。縦延縄の枝縄番号は、表層の枝縄を 1 番とし、深さ方向に 26 番までとなる。

3.2 ビリ巻き発生率の算出方法

漁具の改良によってどれほどビリ巻きの発生が抑制されたかを明らかにするため、ビリ巻き発生率のパーセンテージ (各操業回におけるビリ巻きの発生数を使用した枝縄数で除し、100 を乗じた値) を算出した。ここで、枝縄が幹縄に 3 回以上巻き付いた場合を「ビリ巻き」と定義した。解析には、2014 年 9 月 (VLS ver. 1.1) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) に実施した 19 回の縦延縄操業の結果 (680 針) を用いた。

4. 結果

4.1 ビリ巻き発生率の変化

2014 年 9 月 (VLS ver. 1.1) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) の期間に実施した 19 回の縦延縄操業結果について、漁具改良バージョンごとに (ver. 1.1 – ver. 5.3) 枝縄の使用数とビリ巻きの発生数をヒストグラムとしてまとめ、ビリ巻き発生率を重ねて示した (Fig. 5) VLS ver. 1.1 では 95.8% であったビリ巻き発生率は、VLS ver. 2.0 の天秤の導入により 52.8% まで減少した。とくに、VLS ver. 3.0 では、投縄を航走しながら行う

ことに加えて、錘を最後に入れることで、20% 以下に低減できた。しかし、縦延縄漁具を鉛直方向に 2 鉢繋げるようになった VLS ver. 4.1 と ver. 5.0 においては、ビリ巻き発生率が増加した。

そこで、縦延縄漁具を鉛直方向に 2 鉢繋げている VLS ver. 5.2 において、ビリ巻きが発生する枝縄番号の特定を行った。2015 年 9 月–10 月 (VLS ver. 5.2) の揚縄時に、枝縄番号ごとに 3 鉢分の絡み数を数えたところ、1–7 番目までの枝縄ではビリ巻きは発生しておらず、8 番目以降の枝縄にビリ巻きが発生していた (Fig. 6)。Figure 6 では、期間中に 31 回の枝縄絡みが発生しているが、1 番から 26 番の枝縄絡み数の累積曲線を作成した結果、1–13 番の累積した絡み数 5 回は全体の 16.1% にあたり、残りの 83.9% の絡みが枝縄の 14 番以降であった。このことは、枝縄の敷設深度が大きいほどビリ巻き発生率が高かったことを示している。

VLS ver. 5.2 では、期間中のビリ巻き発生率が 39.7% と高かったため、VLS ver. 5.3 以降は幹縄にサルカンを取り付けたところ、ビリ巻き発生率を 15.4% に低減でき、サルカンが絡み除去に有効と認められた (Fig. 5)。そこで、サルカン使用によるビリ巻き低減効果を調べるために、VLS ver. 5.3 を用いた 2015 年 11 月から 2016 年 2 月までの操業について、Fig. 6 と同様に枝縄番号ごとのビリ巻き発生回数をまとめた (Fig. 7)。その結果、この期間中に 48 回の枝縄絡みが発生した。1–13 番の累積した絡み数 18 回は全体の 37.5% にあたり、14–26 番の枝縄で 62.5% のビリ巻きが発生していた。サルカンを付けてもなお、鉛直方向に 2 鉢連結した幹縄を使用した場合では、深場に敷設された枝縄のビリ巻き発生率が高かった。これらの結果は、枝縄の敷設深度が大きいほどビリ巻き発生率が高かった (逆にいえば、枝縄が浅いほどビリ巻き発生率が低かった) ことを示している。

4.2 漁獲結果と CPUE

枝縄に浮子を取り付けた VLS (ver. 4.0) はビリ巻き発生率が 20% 以下であり、初めてアオザメ (*Isurus oxyrinchus*) を漁獲できた。これまでに

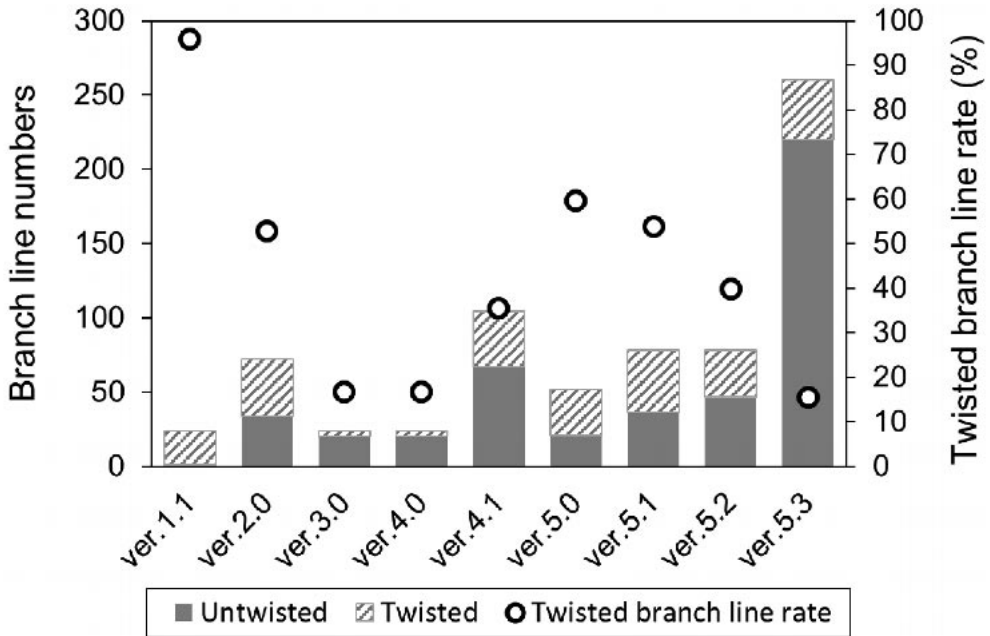


Fig. 5 Histogram of deployed branch lines and its rate from ver. 1.1 to ver. 5.3.

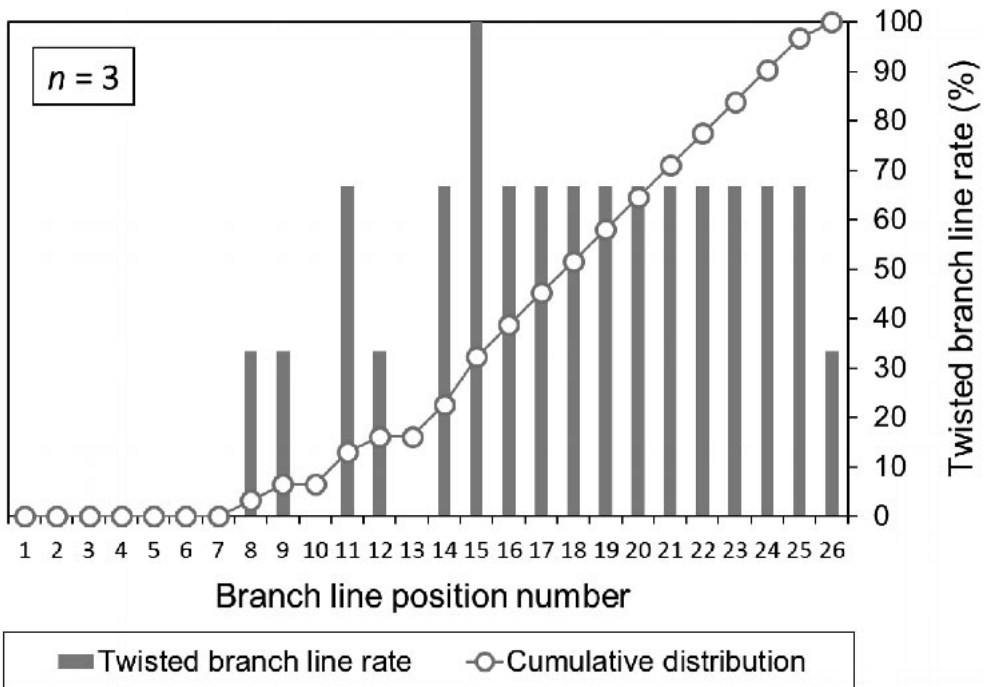


Fig. 6 Histogram of twisted branch lines from Sep. 2015 to Oct. 2015. Fishing gear configuration was ver. 5.2 in Table 1. We deployed 3 main lines during the period ($n = 3$).

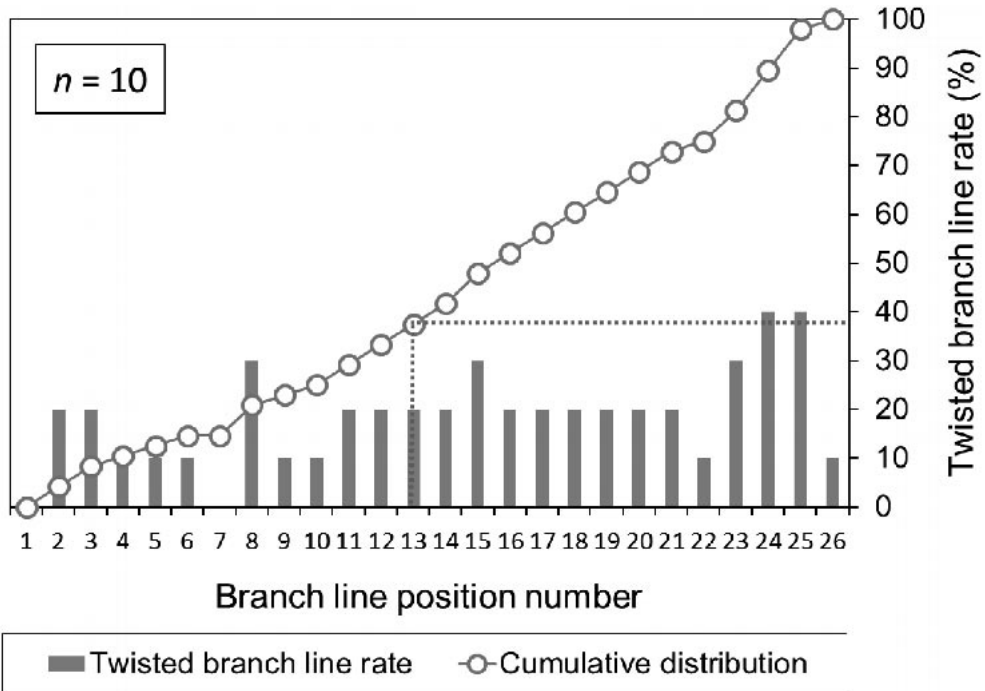


Fig. 7 Same as in Fig. 6, but for the period from Nov. 2015 to Feb. 2016. Fishing gear configuration was ver. 5.3 in Table 1. We deployed 10 main lines during the period ($n = 10$). Cumulative distribution from No.1 to No.13 are 37.5% with dotted line.

アオザメ 2 尾, ヨシキリザメ 4 尾を漁獲した (Table 2)。ほかに, ミズウオ (*Alepisaurus ferox*), バラムツ (*Ruvettus pretiosus*), およびシイラ (*Coryphaena hippurus*) が漁獲された。アオザメとヨシキリザメが 232.5 m 以浅で漁獲されたこと, また, 425.0 m 以深において 1-2 月の冬季にバラムツが漁獲されたことが特記される。

VLS と浮延縄漁具の漁獲性能を比較するために CPUE を算出した。解析には, 2014 年 12 月 (VLS ver. 3.0) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) に実施した 16 回分の操業結果を用いた。また, 同時期に青鷹丸で行った浮延縄操業についても, 2014 年 12 月-2016 年 2 月の期間に実施した 14 回分の結果を解析し, CPUE を求めた。

各操業に用いた総釣針数は, VLS が 620 本, 浮延縄が 3,360 本であり, さめ類の漁獲尾数は, VLS が 6 尾, 浮延縄が 68 尾であった。1,000 針あたりの漁獲量 (さめ類の漁獲尾数) の指標である

CPUE を算出した結果, VLS の CPUE は 9.7, 浮延縄の CPUE は 20.2 であった。VLS と浮延縄漁具は敷設深度が異なるため, 同じ深度帯に敷設された釣針による漁獲結果にのみ着目して CPUE を補正した。浮延縄については, 吉原の式 (2) で短縮率 $k = 0.5$ とした場合に, 深縄の釣針の敷設深度は 211 m にもなるため, 算出された CPUE をそのまま用いる。鉛直方向に幹縄 2 鉢を連結した VLS については, 上部の 1 鉢だけ (浮縄 5 m + 17.5-227.5 m) が浮延縄漁具の敷設深度に相当すると仮定して CPUE を再計算した。その結果, 針数 334 本と, さめ類の漁獲尾数 6 尾から, CPUE は 18.0 と算出された。

5. 考察

縦延縄操業におけるどり巻き発生率は, ①投縄・揚縄作業の人為的不確定性, ②漁具構造の優劣, および③それら以外の外的要因 (風や流れ,

Table 2. Catch sheet of sharks and other fish from Sep. 2014 to Feb. 2016.

Fishing gear version	Date	Number of branch line	Depth (m)*1	Name of species (<i>Latin name</i>)*2
1.1	2014/09/08	7	285.0	Longnose lancetfish (<i>Alepisaurus ferox</i>)
4.0	2015/01/16	4	92.5	Shortfin mako shark (<i>Isurus oxyrinchus</i>)
4.1	2015/02/04	23	425.0	Oilfish (<i>Ruvettus pretiosus</i>)
4.1	2015/05/30	13	232.5	Blue shark (<i>Prionace glauca</i>)
5.1	2015/07/06	3	57.5	Common dolphinfish (<i>Coryphaena hippurus</i>)
5.2	2015/10/05	1	22.5	Blue shark
5.3	2015/11/30	9	162.5	Blue shark
5.3	2016/01/14	3	57.5	Shortfin mako shark
5.3	2016/01/14	26	477.5	Oilfish
5.3	2016/02/04	26	477.5	Oilfish
5.3	2016/02/04	14	267.5	Longnose lancetfish
5.3	2016/02/04	11	197.5	Blue shark

*1 Depth represents the position of sprawl wire (tenbin), varying ± 5 m depending on the posture of branch lines (of 5 m long).

*2 Sharks are shown with bold characters.

漁獲の有無など)によって変化すると考えられる。

これらのうち①と②については、操業経験を積み漁具の改良を重ねることで改善できた(①:練習船である青鷹丸では、乗組員や学生が毎年入れ替わり、特に4, 5, 6月は、未熟者が多い中で操業せざるを得ず、枝縄投入の時点で絡み発生が頻発した; ②:枝縄に浮子を取り付ける仕様のVLS ver. 5.0に改良した2015年6月以降では、新仕様に習熟するまで投入時の絡みが多発した)。

2014年12月(VLS ver. 3.0)と2015年1月(VLS ver. 4.0)の操業では枝縄の絡みが少なかったことから、鉛直方向に1鉢だけで行う操業形態は絡みの抑制に有効であったと考えられる。枝縄の敷設深度が深いほどピリ巻き発生率が高いのは、幹縄の巻き上げ距離が長くなるほど、(1)水の抵抗による枝縄の回転や、(2)幹縄の撚りによる回転、が多くなるためであろう。

(1)は釣針への餌付け方法に依存する。さば1尾を背懸けで針に付けた場合、幹縄巻き上げ時の抵抗が大きく、さらに、餌さばが水の抵抗を受け一方に回転して枝縄を撚ってしまう。目掛けにすれば、巻き上げ時の幹縄にかかる負荷は小さいが、餌さばの口が開いている場合には鰓から水が抜け、背懸け同様に回転した。また、目掛けの餌では、噛み跡がみられるが針掛りしていない場合が

あった。これらのことを総合して漁獲効率の面で考えると、餌にさば1尾を用いる場合には背懸けが有効である。

(2)は、幹縄に3本撚りのロープを用いたために顕在化していたと考えられる。幹縄には、巻き上げ時の強い張力で撚りが戻され回転しようとする力(トルク)が発生する。この回転の影響は幹縄が長いほど強くなるので、深場に敷設する枝縄ではピリ巻き発生率が高くなる。したがって、幹縄2鉢(合計490m、枝縄26本付け)を鉛直方向に繋ぐよりも、幹縄1鉢(245m、枝縄13本付け)で行う方が絡みを抑制できる。

漁具が海中から空中に上がった際のピリ巻きは、枝縄や天秤の回転が、水中では水の抵抗で抑制されているが空中では解放されて一気に発生するため起こるのだろう。また、空中では枝縄や天秤が重力で垂れ下がったり、風で踊ったりすることも影響していると考えられる。

幹縄の回転を軽減するにはサルカンが有効であった。サルカンを幹縄に取り付けた場合(VLS ver. 5.3)、ピリ巻き率を15.4%まで低減できた。摩擦が少さく滑らかに回転するボールベアリング入りのサルカンの採用で、さらに低減できると見込まれる。

2015年2月(VLS ver. 4.1)以降の鉛直方向に

幹繩を2鉢繋ぐ形態の試験操業においては、浅い枝繩だけにさめ類が漁獲された。この結果は、枝繩を浅く敷設した場合、絡みを抑制しつつ、釣針を調査対象のさめ類の生息深度に保持できていたことを示唆している。つまり、本海域では、鉛直方向に1鉢だけのVLSを採用することで、アオザメやヨシキリザメの生息深度に適切に釣針を敷設できる。したがって、VLSの運用形態を2鉢×4組から1鉢×8組に変更すると、より効果的な試験操業が可能と考えられる。ただし、例えば深海性のさめ類を対象とする調査では鉛直方向に幹繩を繋げる操業でなければ漁獲できないことから、当然、調査目的によって敷設深度を調節すべきである。VLSは、このような調節に容易に対応出来るという長所を有する。

ビリ巻きの抑制には、漁具だけでなく漁労装置各部の改良や操業方法の改変も有効である。幹繩は、舷側の三方サイドローラーを経由してラインローラーで甲板上に巻き込まれる。このサイドローラーには、VLSの揚繩時にロープの摩擦を和らげる働きがあるが、一方でサイドローラーを手で押さえて回転を止めたところ、水面上に上がった幹繩や枝繩の回転を抑制でき、ビリ巻き発生率が低減した。これは、幹繩に働くトルクをローラーの位置で分担できたためと考えられる。また、漁獲を感じた際にラインローラーによる幹繩巻上げを遅くすると、ビリ巻きが緩和された。ラインローラーのブレーキを常に効かせて巻上げ速度を遅くした結果、ビリ巻き発生率が低減されただけでなく、絡んだ場合にも枝繩の取り外しが容易となり、結果的に操業時間を短縮できた。青鷹丸のラインローラーの巻上げ速度109 m/minは、元来は浮延繩操業の仕様である。浮延繩操業で使用されるラインローラーは、航走しながら長大な漁具を効率よく回収するために、高速で巻上げる必要があった。これに対してVLSの操業は、浮延繩とは異なり船を止めて幹繩を巻上げる。延繩漁具を深場から低速で巻上げる操業に近い。例えば、底延繩操業に使われるラインローラーの巻上げは、低速39-55 m/minである(新日海工業、NKLH-4C-300)。縦延繩操業で使ったライン

ローラーは底延繩操業で使われるものの約2-3倍の速さで巻上げており、幹繩にかかる張力や枝繩にかかる抵抗が大きく、幹繩にかかるトルクが強かったためにビリ巻きが起りやすかったと考えられる。上記のように、サイドローラーなど漁労装置各部の改良や、ラインローラーの巻上げ速度の調節などが、ビリ巻き発生数の低減に奏功する可能性がある。

VLSの敷設形状が流れにどのように影響されるかを把握するには、ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)によって各層の流れを計測しながら、漁具に取り付けた深度計によって敷設形状を測定し、さらに浮子に取り付けたGPSロガーによって位置情報を記録し、得られたデータを解析することが有効と考えられる。これを念頭に置いた調査を、今後進めて行く。

VLSは、投縄・揚繩作業負担の軽減を目標として開発してきた。我々の試験操業は毎月1回しか実施できず、毎日操業する漁業者とは異なり、人為的不確定性への対策としての漁具改良も必要であった。ビリ巻き軽減を目的として製作した天秤は、ラインローラーで巻き込めるために、巻上げ作業の負担にならない。また、この天秤の採用により、投縄時に枝繩取り付け位置の明瞭な目印となるのでスナップをかける位置が一目でわかり、投縄作業が容易になった。さらに、天秤に枝繩番号を記入することで、投縄作業中に順番が確認でき、漁具に観測機器を取り付ける際の目印としても有効であった。また、揚繩時にも、番号が書いてあることで調査の確実性が向上した。さらに、この番号をブリッジから読み取ることにより、より適切な操船が可能となった。

VLSは、使用する釣針が大きく、餌にさば1尾を使用するなど餌も大きいことから、口の大きな魚種を選択的に漁獲していたと考えられる。また、枝繩にテグスではなくカナヤマを使用し、さらに釣元に浮子を取り付けるため、さめ類に警戒されて漁獲効率が低いという問題も予想されたが、試験操業の結果では、VLSの漁獲性能が浮延繩操業と比べて明らかに劣ることはなかった。

以上のように、試験操業を重ねながらVLSを

改良し、漁具の絡みを低減させ、縦延縄操業の作業効率の向上に成功した。鉛直方向に多数の釣針の敷設が可能なVLSによって得られた相模湾におけるさめ類のCPUEは、浮延縄で得られたCPUEと同程度の値であった。VLSは、青鷹丸以外の漁船においても、乾舷高に応じて枝縄長を調整すれば使用できる。他魚種用の縦延縄漁具を製作する際にも、本研究で得られたVLSのピリ巻き対策の知見は有用である。

本研究で漁獲性能の把握のために計算したVLS試験操業のCPUEは、浮延縄操業と比べても決して低いものではなかった。ただし、VLSを含む縦延縄のCPUEを浮延縄のものと単純に比較することはできない。浮延縄のCPUEで吉原の式(2)で短縮率 $k=0.5$ と仮定したものについては縦延縄のものとの比較が可能であるが、縦延縄のCPUEの算出では総釣針数から絡みのあった針数を除去する必要がある。より詳細にCPUEを比較するためには、操業を継続して行い、ピリ巻きが低減されたVLS ver. 5.3による漁獲データを蓄積することが必要である。

謝 辞

東京海洋大学研究練習船青鷹丸乗組員の皆様には、漁具の製作から操業まで、多大なご協力をいただいた。東京海洋大学船舶・海洋オペレーションセンターの皆様には、操業許可の取得や操業日誌の提出に際してご尽力いただいた。国際水産資源研究所の皆様と、東京海洋大学資源・海洋情報解析学研究室、海洋物理学研究室、生産システム学研究室、応用情報システム工学研究室の皆様には、試験操業の実施にご協力いただいた。ここに深謝する。

引用文献

- 金田禎之 (1995) : 日本の漁業と漁法. 成山堂書店, 東京, 126-137.
 清田雅史, 横田耕介 (2010) : マグロ延縄漁業における混獲回避技術. 日本水産学会誌, **76**, 348-361.
 MIZUNO, K., M. OKAZAKI, N. MIYABE (1998) : Fluctuation of longline shortening rate and its effect on

underwater longline shape. *Bull. Nat. Res. Inst. Far. Seas Fish.*, **35**, 155-164.

- 水野恵介, 岡崎 誠, 中野秀樹, 岡村 寛 (1997) : 小型BTを利用したまぐろ延縄の水中姿勢の推定. 遠洋水産研究所報告, **34**, 1-24.
 中野秀樹 (1994) : 北太平洋に分布するヨシキリザメの年齢と繁殖および回遊に関する生態学的研究. 遠洋水産研究所研究報告, **31**, 141-256.
 根本雅生, 塩出大輔, 内田圭一, 戸高耀介, 上嶋紘生, 萩田隆一, 宮崎唯史 (2014) : 相模湾における外洋性サメ類に関する研究 I 延縄試験操業. 2014年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, **73**.
 齋藤昭二 (1992) : マグロの遊泳層と延縄漁法. 成山堂書店, 東京, 64-166.
 SHIODE, D., F. HU, M. SHIGA, K. YOKOTA, T. TOKAI (2005) : Midwater float system for standardizing hook depths on tuna longlines to reduce sea turtle by-catch. *Fish. Sci.*, **71**, 1182-1184.
 戸高耀介, 根本雅生, 塩出大輔, 山本璃子, 中野知香, 吉田次郎 (2014) : 相模湾における外洋性サメ類に関する研究 II 外洋性サメ類の漁獲動向. 2014年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, **74**.
 山口邦久 (2011) : 小笠原諸島海域のたて縄漁法によるメカジキの釣獲水深と水温. 東京都水産海洋研究所報告 (4), 29-60.
 吉原友吉 (1951) : 鮪漁業の漁獲分布 II 垂直分布. 日本水産学会誌, **16**, 370-374.

受付 : 2017年9月6日

受理 : 2017年12月11日

