東京湾あなご筒漁業におけるマアナゴの入筒時刻の計測

吉田 空久,¹ 内田 圭一,^{2*} 宮本 佳則,² 南場 敬志,¹ 柿原 利治²

(2012 年 4 月 5 日受付, 2012 年 9 月 6 日受理)

¹東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科, ²東京海洋大学海洋科学部Development of measuring equipment and measurement of entrapping time
for conger eel tube fishery in Tokyo BayTAKAHISA YOSHIDA,¹ KEIICHI UCHIDA,^{2*} YOSHINORI MIYAMOTO,²
TAKASHI NANBA¹ AND TOSHIHARU KAKIHARA²¹Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology,
Minato, Tokyo 108-8477, ²Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477,
Japan

To study conger eel tube fishery in Tokyo Bay, we developed equipment to measure the time at which conger eel first entered the tubes and, after testing the equipment in the laboratory, conducted field experiments around Naka-no-Se, Tokyo Bay. A total of 192 experimental tubes were deployed and 85 of them were successfully measured. Conger eels are generally known to be active at night; however, in this study, even though the tubes were deployed during the daytime, 35% of the first entry times were within one hour after deployment and 63% of them were before sunset.

キーワード : *Conger myriaster*, あなご筒漁業, 東京湾, 入筒時間, マアナゴ

延縄や籠網, 刺網, 定置網, 釣りなどの受動的漁具では, 漁具の浸漬時間や漁具の投入または回収を行う時間帯(操業時間)などの時間的要素が漁獲の成否へ与える影響が大きい。¹⁾ 漁具を長時間浸漬させることは, 漁獲対象魚が漁具と遭遇する可能性が高くなる。²⁾ その一方で, 長時間の浸漬は漁具に捕われた対象魚の逃避や食害, 斃死の可能性も高くなり, 生産性の向上に繋がらないこともある。^{3,4)} さらに, 餌による誘因効果を利用した受動的漁具では対象魚の摂餌意欲の有無が漁獲の重要な条件となる。⁵⁾ すなわち受動的漁具では, 対象魚の摂餌意欲の高い時間帯を把握することが重要になる。しかし, 沿岸漁業における操業時間や漁具の浸漬時間は, 漁業者間の取り決めや操業の経験に基づく慣例,⁶⁾ さらに, 市場や流通等に関係して決まっているものが多い。これまでも, 小型延縄漁業^{1,4,6,7)}をはじめ刺網⁸⁾や籠網⁹⁾で操業時間や浸漬時間が漁獲に与える影響について, 定置網では, 魚群の入網時刻¹⁰⁾や箱網の揚網間隔と漁獲量の関係についての研究¹¹⁾など, 時間と漁獲についての検討がなされてきた。

本研究の対象である東京湾のあなご筒漁業は, 小型底曳網漁業との調整から 14 時に操業を開始する取り決めの下で行われている。¹²⁾ マアナゴ *Conger myriaster* は一般的に夜行性と言われ, 釣りや延縄で夜間に漁獲されることが知られている。¹³⁻¹⁵⁾ 一方で, 東京湾のあなご筒漁業者は, 経験的に日中でもマアナゴが活発に摂餌行動をしていると考えている。そのため, 他の漁業者より先に投入した筒にマアナゴが集まり, 後に入れられた筒より相対的に多くの漁獲が期待できると考えている。その結果, 漁業者は自船に高出力のエンジンを搭載し, 操業開始時刻の 14 時になると各々が狙っている漁場へ全速力で船を走らせる。しかし, マアナゴが先に投入された漁具に集まるという情報は, 漁業者の経験に基づく推測で科学的根拠がない。他の漁業者よりも早く操業場所へ到着するために高速で航行することは, 燃料使用量の増加につながる。近年の燃油高騰の最中, このような操業方法は, 漁家経営上必ずしも適切であるとは言えない。

これまでも東京湾のあなご筒漁業では, 浸漬時間と漁獲量の関係に関する調査が清水¹⁶⁾によって行われて

きた。東京湾のあなご筒漁業には、漁具を投入した後、海上に留まりその日のうちに回収する昼間操業と、一度帰港して翌早朝に回収するよいばき操業がある。これら二つの操業形態を比較すると、長時間浸漬させるよいばき操業の方が一筒あたりの漁獲量が約2倍になると試算されている。¹⁶⁾しかし、筒が投入されてからマアナゴがどの時刻に入筒したのかを調査した例はなく、適切な操業時間を検討するための基礎情報は十分とは言えない。浸漬時間は、昼間操業で1~6時間、よいばき操業で12~20時間である。¹⁷⁾このように長時間浸漬される筒に対してマアナゴが入る時間帯が明らかにできれば、漁業者はその時間帯を選択しながら操業することが可能になり、適切な船速による燃費の削減も期待できる。

従来、対象魚が漁具に捕らわれた時間（漁獲時刻）を知るためには、操業時間や漁具の浸漬時間を変えて、そこから得られる漁獲量の変化から漁獲時刻を推測する手法がとられてきた。^{7,10)}この方法でより正確な漁獲時刻を知るためには、操業時間や浸漬時間を細かくずらしたり区切ったりする必要があり、多大な労力を要する。これに対して最近では、電子部品の小型化と高性能化、さらに電池性能の向上により、加速度ロガーやモーションディテクタなどの機器が、漁具に装着しても影響の無い程度に小型化している。そして、これらを漁具に装着することでより正確に漁獲時刻を計測することが可能になっている。¹⁸⁻²⁰⁾一方で多くの船舶が輻輳し錨泊する東京湾では、漁具の目印となる旗竿が航行する船に引っかけられて紛失したり、漁具の上に錨や錨鎖が投下されて回収できなくなったりすることがある。このような海域で高価な機器を漁具へ装着することは、それらを紛失する可能性が高くなるため躊躇されやすい。また、解析に必要な数のデータを取得するには、複数の記録計が必要となるため、コスト的にも負担が大きくなる。そこで本研究では、はじめにあなご筒に入るマアナゴの時刻を計測するための安価な計測器の開発を試みた。次に、開発した計測器を実操業のあなご筒漁具に装着して、マアナゴの入筒時刻を調べるとともにその性能を評価した。さらに、得られた入筒時刻データと環境データを解析し、マアナゴの入筒と環境の関係について検討を試みた。

材料および方法

東京湾あなご筒漁業の漁獲機構 あなご筒は、餌による誘引効果でマアナゴを筒内に誘導し、“かえし”による逃避防止の構造によりマアナゴを筒内に保持する誘導陥穽漁具の一つである。東京湾で使用されるあなご筒は、直径10 cm長さ80 cmの塩ビ管に水抜き用の穴を開けたものが主流となっている。餌には冷凍のカタクチイワシや冷凍のスルメイカが使用され、マアナゴはこれら餌から発せられる匂いにより筒内に誘引される。筒の

Fig. 1 Outline of conger eel tube and trigger mechanism. When a conger eel enters the tube, the end of the string is taken in “G-1.4 cm”. G (cm) is the girth of the conger eel.

両端には、厚さ1 mmのポリプロピレン樹脂で作られた高さ約25 cm直径約10 cmの漏斗状で、先端に切れ込みを入れた“かえし”が逃避防止装置として装着されている（Fig. 1）。餌に誘引されたマアナゴは、この“かえし”を押し広げて筒内に入った結果、筒内に保持され漁獲に至る。

計測器の構成 入筒時刻計測器（以下、計測器とする）は、時計、電池ボックス、スイッチ、これらをつなぐリード線、台座となる長さ7.5 cm、幅0.7 cm、厚さ0.4 cmの木材、これらを収納する耐水ケースからなる（Fig. 2）。時計には、百円均一店で市販されているデジタル腕時計を使用した。この腕時計から時計の液晶と基板を残して、ベルトやケース、裏蓋、見切り板、電池ホルダーなどをスペーサーから取り外した。そして、スペーサーを耐水ケースに収まる大きさ（長さ2.2 cm、幅1.4 cm）に切削加工した。使用した時計の電源は本来ボタン電池であったが、切削加工した結果そのスペースが消失したので、別途単5電池を電池ケースに入れて使用した。この時計は、停止状態から起動すると1月1日の0時0分の表示から動き出す。すなわちマアナゴが入筒したときに起動すれば、入筒時刻は計測器の時計の時刻からそれを確認したときの時刻を差し引いた時刻となる。一方で、筒に入るマアナゴは多いときで一筒あたり10尾以上のこともあるが、計測原理上、計測できる入筒時刻は最初の1尾のみとなる。

計測器の時計のスイッチ機構は、マアナゴがかえしを押し広げることで起動するように設計した。実験に使用したあなご筒のかえしの長さは25.7 cmで、先端は切れ込みにより7枚に分かれている。そこで、これらのうち1枚おきの3枚の先端から1 cmの部位に直径約1 mmの穴を開けて、この穴を通しながらかえしの先端部分（外周1.4 cm）を一周するようにナイロンテグスを巻きつけた。テグスは、マアナゴが入筒する際の力で破

Fig. 2 Outline of the measuring equipment and experimental tube.

断したり時計の起動に影響を及ぼすほど伸長したりしないものとして直径 0.4 mm のものを使用した。テグスの一端はかえしに固定し、もう一端には磁石を取り付けた。最大胴周長 G (cm) のマアナゴがこのかえしを押し広げて入筒することで、Fig. 1 のように磁石は $G-1.4$ (cm), かえし方向に引っ張られることになる。このマアナゴの入筒にともなう磁石の運動で耐水ケース内の時計を起動させる設計とした (Fig. 2)。以下、この磁石をトリガ磁石と呼ぶ。耐水ケース内のスイッチにはヒンジレバー形のリミットスイッチ (オムロン株式会社製 D2F-L-D) を使用した。リミットスイッチは、レバー部分の先端に磁石を取り付け、耐水ケースの外側からトリガ磁石を当てることで、電源の入切を可能にした。ここでは、耐水ケースの外側からトリガ磁石を当てた状態で、リミットスイッチのレバー先端が磁石の反発力で押し下げられて電源が切になり、トリガ磁石が離れると電源が入になるように設計した。時計は、再度磁石を当てて電源を切ることで、繰り返し使用することができる。また、耐水ケース上のトリガ磁石は、脱落防止用に左右と上部を薄いプラスチック板で囲った。計測器の試作と改良を繰り返す中で、耐水ケースは塩化ビニルパイプを使用したものから、最終的には透明なイカ釣り用水中ライト (北海産業有限会社製 HO-L) のケースを転用したものを使用した (Fig. 2)。開発した計測器は、あなご筒の側面にビニルテープで固定した。そして、投入時の着水や着底の弾みで、トリガ磁石が計測器から脱落し耐水ケース内の時計が不用意に作動しないように、水に濡れると繊維がはぐれる親水性の紙でトリガ磁石を囲いに固定した。通常にあなご筒は、両端からマアナゴが入れるようになっている。しかし、本研究では、1 尾目の入筒時刻データを得る事を目的としているために、計測器は一筒に付き一つとし、計測器を装着しない一方は、かえしの先端をビニルテープで止めマアナゴが入筒出来ない

ようにした。漁業者によると、投入された筒は、潮の流れに対して枝縄結着部が上流を向くため、餌の匂いが拡散する下流側の方からマアナゴが入筒してくる考えられている。そこで計測器は、枝縄結着部の逆側に装着した (Fig. 2)。

計測器装着の影響検証実験 計測器が取り付けられたあなご筒 (以後、実験筒) のかえしの先端には、一端にトリガ磁石の付いたテグスを巻き付けた。そのため、マアナゴが実験筒のかえしを押し広げて入筒するには、通常の筒のかえしを押し広げるのと比較して、囲いとトリガ磁石、巻きつけられたテグスと筒、テグスとかえしの摩擦抵抗分だけ大きな力が必要になると考えられる。トリガ磁石は、強力であればあるほど、耐水ケース外部から時計の電源を確実に切ることができるが、一方でかえしを押し広げるためにより大きな力 (以下、入筒力とする) が必要となる。正確なマアナゴの入筒時刻を得るためには、かえしの開き具合がマアナゴの入筒を妨げることは極力避けなければならない。そこで、①通常のかえし、②先端にテグスを巻きつけたかえし、③計測器を装着したかえしのそれぞれにおいて、入筒力の計測を行った。特に③のトリガ磁石については、a (直径 1.0 cm, 厚さ 0.4 cm), b (直径 2.4 cm, 厚さ 0.4 cm), c (直径 2.4 cm, 厚さ 0.8 cm) の 3 段階のサイズを用意した。入筒力は、あなご筒を台上に固定し、紙粘土で作成した球にテグスをつなぎ、この球がかえしを通過する際に必要とした力として、テグスを介してばね式手秤 (株式会社三光精衡所 U-0156-0001, U-0156-0002, U-0156-0003) で計測した。計測はそれぞれのかえしの状態で 10 回ずつ行い、球が通過する際に記録したばね式手秤の最大値の平均をそれぞれにおける入筒力とした。東京湾で最もあなご筒漁船が多く所属する横浜市漁業協同組合柴支所では、全長 36 cm 以上を出荷サイズとしている。そこで計測に使用した球は、内田²¹⁾による全長 L

(cm) と最大胴周長 G (cm) の関係式 $G = 0.184L - 0.625$ を用いて直径 1.9 cm ($L = 36$ cm, $G = 5.9$ cm) とした。入筒力の計測後に水槽実験として、約 20 尾のマアナゴがいる漁船の魚槽内で、マアナゴの実験筒に対する入筒行動の観察実験を行った。魚槽内のマアナゴは、隠れ家を求めて空の筒に入筒することから、餌は使用しなかった。観察実験では、マアナゴが入筒を試みた回数と、そのうちの入筒した回数を記録した。

操業実験 実験筒は、前述の改良を加えつつ、2007 年 6 月から 2009 年 9 月の間に 21 回、横浜市漁業協同組合柴支所所属のあなご筒漁船「第六金亀丸」の実操業の中で使用した。操業は東京湾の中央に位置する中ノ瀬を中心に行われ、いずれの実験筒も漁業者が経験的にマアナゴの分布密度が高いと考える海域に投入された (Fig. 3)。時刻計測の実験を開始した直後の 2007 年 6 月から 9 月は、中ノ瀬の東側に実験筒を投入した。そして、2007 年 10 月は横浜よりの海域に、11 月は川崎沖に投入した。2008 年 6 月は中ノ瀬の北西側に、8 月は中ノ瀬の東側、9 月は中ノ瀬の東側と西側に 11 月～12 月は中ノ瀬の西側と一部が中ノ瀬の北西側、さらに 2009 年 6 月は川崎沖に投入した。操業形態は、2007 年 7 月以外は全てよいばき操業である。2007 年 7 月は、荒天のため操業日の 14 時に出漁できなかったため、翌日の日出に合わせて出漁して漁具を投入し、投入後すぐに投入順に回収する昼間操業であった。また、図中のプロットは、漁具が投入された海域の代表として、時刻計測が成功した漁具の位置を表したものである。実験筒に

は、餌として冷凍カタチイワシと冷凍スルメイカを用いた。実験筒は一回の操業で 2 本から 10 本を使用し、投入する際に投入時刻と GPS で測位した位置を記録した。そして、計測器の装着が漁獲に影響を与えるかを検討するために、筒回収の際には投入された順に実験筒の前と後ろのそれぞれの筒の漁獲尾数を記録し、実験用筒の漁獲尾数との比較を行った。また、環境情報の一つとして、実験筒またはその近くの筒に水温記録計 (Onset 社 HOBO water temp pro data logger) を装着した。さらに漁具回収時には、魚群探知機の水深表示値を記録し、これを漁具投入位置の水深とした。

解析方法 操業実験で使用した実験筒のうち、漁獲が有るか計測器が正常に動作していた場合を成功とした。また、東京湾のあなご筒漁業では、マアナゴの他にスタウナギ *Eptatretus burgeri* の混獲が知られている。そこでマアナゴとスタウナギが同時に漁獲された場合は、どちらが先に入筒したかを知ることができないため、ここではマアナゴのみが漁獲されたときを漁獲有りとした。時刻計測の成否は、①漁獲有りで計測に成功、②漁獲有りで計測に失敗、③計測器が正常な状態で漁獲が得られず未計測、④漁獲が無かった上での計測器動作不良の 4 つの現象に分類した。そして、これらのうち、操業実験毎の①の件数を①、②、④の件数の合計で除した値のパーセントを成功率とした。計測器が正常な状態でかつ漁獲が無かった③については、仮に漁獲があった場合正常に作動したか否かを判断することができないため、ここでは成否に含まなかった。次に、マアナゴの入筒時刻と筒投入時刻から、マアナゴが入筒するまでの経過時間を算出し、筒投入後から 1 時間毎に、マアナゴが入筒した頻度を比較した。また、マアナゴが夜行性といわれていることから、日没時刻を基準として前後何時間に入筒したかを算出し、1 時間毎の頻度を比較した。さらに筒投入から入筒までの経過時間については、漁獲尾数 (1 尾毎)、水温 (2°C 毎)、水深 (5 m 毎) 別にもそれぞれ頻度を算出し、時間帯によって入筒の頻度に有意な差があるかをカイ二乗検定 ($p < 0.05$) を用いて検討した。なお、操業形態が違う 2007 年 7 月で得られた入筒時刻は、これらの解析には用いていない。

結 果

入筒力計測結果 入筒力の計測結果は、①通常のかえしで 0.001 N 未満、②先端にテグスを巻きつけたかえしで平均 0.509 N (SD 0.060)、③計測装置を装着したかえしのうち磁石 a で平均 1.111 N (SD 0.106)、磁石 b で平均 2.331 N (SD 0.368)、磁石 c で平均 5.336 N (SD 1.263) となった (Table 1)。

入筒観察実験結果 それぞれのかえしの状態で、マアナゴが入筒を試みた回数と入筒に成功した回数を Table

Fig. 3 Study area (Naka-no-Se, Tokyo Bay) and casting points of experimental tubes. ●, June–September 2007; ○, October 2007; ▲, November 2007; △, June 2008; ■, August 2008; □, September 2008; ◆, November–December 2008; ◇, June 2008.

1に示す。通常のかえしの場合、入筒を試みたマアナゴのうち全ての個体がそのまま入筒した(入筒率100%)。そして、②先端にテグスを巻きつけたかえしで入筒率は88%、③計測装置を装着したかえしのうち磁石aで80%、磁石bで33%、磁石cでは入筒を試みた行動が12回観察されたにも関わらず、入筒できたのは0個体(入筒率0%)となった。一方で、最もトリガ磁石の磁力の弱いaの場合、魚槽へ着底した弾みや、マアナゴが筒に接触して筒が動いた際に、磁石が外れて計測器が起動してしまう事例が観察された。そこで本研究では、マアナゴの入筒行動に影響を与える可能性は残るが、計測器のトリガ磁石には磁石bを使用した。

計測器装着と漁獲の関係 実験筒とその並びの前の筒と後の筒の漁獲尾数を比較した結果、実験筒の一筒当たりの平均漁獲尾数は2.5尾(SD 2.4)、実験筒の前の筒は3.2尾(SD 2.6)、後は2.6尾(SD 2.6)になった。実験筒の前後の平均漁獲尾数は実験筒の平均を上回ったが、ウィルコクソン符号順位検定($p < 0.05$)により実験筒とその前の筒、実験筒とその後の筒で平均漁獲尾数を比較したところ前の筒とは有意な差が見られたが、

Table 1 Experimental results of selecting trigger magnet

	Required force (N) ^{*1}	Total number ^{*2}	Entering number ^{*3}	Success rate (%) ^{*4}
Only funnel	0	10	10	100
With wrapping string	0.5 (± 0.1)	8	7	88
Magnet a	1.1 (± 0.1)	10	8	80
Magnet b	2.3 (± 0.4)	12	4	33
Magnet c	5.3 (± 1.3)	12	0	0

^{*1} Force required for a 1.9 cm diameter ball to pass through the funnel.

^{*2} Number of conger eel trying to enter the tube.

^{*3} Number of conger eel entering the tube.

^{*4} Success rate of conger eel entering the tube.

後ろの筒に対しては有意な差は見られなかった。

計測の成功率 延べ192件の実験筒の投入のうち、137件(71%)で漁獲が得られた。そのうち入筒時刻の計測に成功したのは81件(42%)であった。そして、漁獲が無いにもかかわらず計測器が起動していたり水没していたりしたものが14件、漁獲が得られたにもかかわらず計測器が起動していなかったものが57件と合計で71件(37%)が誤作動があった。これら誤作動は、入筒があったが電池と時計を繋ぐリード線や金属部品がわずかに酸化し、通電が不安定になる接点不良で時計が作動していなかった、もしくは回収後の計測器の値から換算すると筒を投入する前に作動してしまっていたなどの「動作不良」が20件、防水ケースの継ぎ目から海水が浸水してしまっていた「水没」が18件、漁具投入時に海面との接触の衝撃で磁石が離れて時計が作動してしまった「磁石の脱落」が10件、漁具が船上に上げられたときに筒内のマアナゴが暴れて筒が振動したことによる「スイッチのリセット」が5件、原因不明が18件あった。Table 2に対策方法と対策を施した後から次の対策までの期間の成功率を示す。実験を通しての成功率は、53%であった。時計の動作不良には、スイッチ部の接点や配線の微調整や取り回しの変更による改良で対応した。塩ビパイプの防水ケースで多くみられた水没は、シールテープの巻き数の調整やOリングの使用により水密を高めたことで問題は解消した。イカ釣り用ライトを防水ケースとして転用してからの水没は5例だけであった。また、透明のイカ釣り用ライトケース導入後は、投入前に誤作動の有無を確認することができたため、投入前にセッティングし直すことが可能となり動作不良が減少した。漁具投入時の「トリガ磁石の脱落」は、風力4~6の中での操業で漁具を海中に静かに入れることが困難だったときに多く起きていた。これは、トリガ磁石を収めるプラスチックの囲いの開口部を親水性の紙で固定することで解決した。「スイッチのリセット」は、

Table 2 Change of success rate by provision

Term ^{*1}	Suc. (%) ^{*2}	Suc. ^{*3}	No catch	Observed failure patterns					Total
				De. move ^{*4}	Flood	Drop ^{*5}	Reset	Unknown	
1	20	2	2	1	7	—	—	—	12
2	13	1	2	—	2	5	—	—	10
3	50	3	1	—	3	—	—	—	7
4	44	14	—	2	1	2	—	13	32
5	64	61	35	17	5	3	5	5	131
Total	53	81	40	20	18	10	5	18	192

^{*1} 1: 2007/06/25–2007/07/31 No provision, 2: 2007/08/27–2007/08/28 Wrapped with seal tape, 3: 2007/09/21–2007/09/22 Wrapped with hydrophilic paper, 4: 2007/10/29–2008/02/02 O-ring with waterproof case, 5: 2008/06/06–2009/09/15 Change waterproof case.

^{*2} Success rate = Number of successes $\times$ 100 / (Number of successes + Number of failures). ^{*3} Number of successes. ^{*4} Defective movement.

^{*5} Trigger magnet drop out.

Fig. 4 Sunset time and entry time after casting of each experimental tube. Sampling number: Each experimental tube is assigned a number in order of time series. Sampling numbers 1–5 were deployed in June–September 2007, Nos. 6–13 in October 2007, Nos. 14–21 in November 2007, Nos. 22–38 in June 2008, Nos. 39–51 in August 2008, Nos. 52–68 in September 2008, Nos. 69–79 in November–December 2008, and Nos. 80–86 in June 2008. □, sunset; ▲, entry time.

Fig. 5 Entry time; elapsed period between casting the tube and entry of conger eel.

大型のマアナゴや一度に多くのマアナゴが入筒した際に見られ、さらに筒の回収時刻と算出された時刻が一致していた。このことから、マアナゴが船上に回収された筒内で暴れることにより生じた振動で、計測器のスイッチが一時的にオフとなり、時計がリセットされたものと考えられた。この問題については、防水ケースを透明にして回収後に速やかに計測器の時計を読み取ることで対応した。最終的な対策を講じた以降の成功率は6割を超え (Table 2 の Term 5), 特に操業実験の後半3分の1となる2008年8月からの成功率は平均で8割を超えた。

入筒までの時間 実験筒の投入時刻を基準としたマアナゴが入筒するまでの所要時間と日没の関係を図4に示す。調査期間を通じて実験筒の投入は、出漁時刻の14時から15時半までの日没前に行われた。入筒時刻の計測に成功した81件のうち、52件 (64%) は日没前に入筒が記録されていた。漁具投入後の1時間以内の入筒が最も多く32件 (40%) であったが、2008年6月

Fig. 6 Number of experimental tubes based on sunset time. Mean horizontal axis, before sunset time (-), after sunset time (+).

Fig. 7 The number of experimental tubes into which conger eels entered in each time zone. “Catch” means the number of conger eels caught per tube.

の16件では、筒投入後1時間以内の入筒が見られなかった。

筒を投入してからマアナゴが入筒するまでの所要時間の1時間毎の頻度をFig. 5に示す。入筒は筒投入後1時間をピークに時間の経過とともに減少する傾向にあるが、6~7 hの間にも再びピークがみられた。さらに、マアナゴが入筒した頻度を日没時刻を基準に前後1時間毎に区切ると、先述のように日没前に入筒が52件 (64%) であった (Fig. 6)。そして日没後は、1時間以内が6件と最も多く、1~2 hは1件と少なくなり、2~3 hに再び6件と増え、その後漸減する傾向となった。

入筒時刻と漁獲尾数の関係 筒を投入してからマアナゴが入筒するまでの所要時間の1時間毎の頻度を一筒あたりの漁獲尾数 (Catch) 毎に示した (Fig. 7)。Catch 毎の入筒時刻計測の成功件数は、最多が Catch = 1 と Catch = 3 の19件、次いで Catch = 2 の13件、Catch = 4 の12件と続いた。Catch = 1 では、時間帯ごとの入筒頻度に有意な差は見られなかったが ($\chi^2 = 18.63 < 21.03$), Catch = 2 から5では、時間帯によって入筒頻度に有意な差がみられた ($\chi^2 > 21.03$)。時間帯に頻度の有意な差があるとされた Catch では、最頻値がいずれの Catch でも筒投入後1時間以内であった。

Catch = 7 以上も 1 時間から 3 時間の間に入筒が集中する傾向がみられたが、件数が少ないこともあり統計的に時間帯における頻度の違いは認められなかった。

入筒時刻と水深の関係 水深帯毎の入筒時刻の頻度分布を Fig. 8 に示す。70% の実験用筒が水深 20~30 m の水深帯に投入されていた。入筒時刻の頻度に有意な差が確認された水深帯は 20~25, 25~30, 35~40, 40~45 m であった ($\chi^2 > 21.03$)。35~40, 40~45 m はサンプル件数が少ないが、いずれの水深帯も最頻値は 1 時間以内であった。一方で 2 番目に頻度が高かった時間帯は、20~25 m では 3~4 h, 25~30 m では 6~7 h であった。

入筒時刻と水温の関係 水温帯毎の入筒時刻の頻度分布を Fig. 9 に示す。実験用筒が投入されていた水温は、14~23°C であった。各水温帯における入筒時刻の頻度は、22~24°C で時間帯による頻度に有意な差が見られなかったが ($\chi^2 = 15.50 < 21.03$)、それ以外では顕著な差がみられた ($\chi^2 > 21.03$)。水深と同様に、頻度に有意な差がみられた水温帯の最頻値はいずれも筒投入後 1 時間以内であった。しかし水温 16~20°C の水深に 70% の筒が投入されており、水深同様に得られたデータ数に偏りがあった。このようにデータに偏りがあるものの、16~22°C の間では水温帯が高くなるに従って全体的に

入筒時間が早くなる傾向がみられた。

考 察

計測器装着が入筒に与える影響 本研究で開発した計測器は、実験を繰り返しながら改良を加えることで、最終的な成功率が約 8 割にまで到達した。一方で、かえしの先端部分には、計測器の時計を起動させるためにトリガ磁石と結束したテグスが巻かれており、さらに反対側のかえしはマアナゴが入筒できないようにビニルテープで閉鎖した状態にあった。さらに実験で使ったトリガ磁石は、魚槽内の観察実験での入筒率が 33% となり、計測器の装着がマアナゴの入筒に影響を与える可能性が懸念された。しかし、実際の操業実験で得られた実験筒と並びの前後の筒の漁獲尾数を比較したところ、平均の漁獲尾数は少なくなったものの、前後の内、後の筒に対しては有意な差がみられなかった。魚槽内は、マアナゴにとって不自然な環境下であったため、自然下と違う警戒心が強い状態であった。また、魚槽内での観察実験では、実際の操業と異なり、餌を使用しなかった。漁業者の私信によるとあなご筒に餌を入れずに投入した場合、マアナゴが入筒することはないという。すなわち、あなご筒漁業においてマアナゴの入筒を促す要因は、マアナゴの走性や行動特性よりも餌による誘引効果とマアナゴの摂餌欲によるものと考えられる。しかし、魚槽内の実験ではマアナゴが物陰に隠れるという走触性を利用しただけであった。そのため、入筒に通常の筒以上の力を要する実験用筒に対する入筒率が低くなったと考えられた。一方で、自然条件下で餌を使用した操業実験では、摂餌欲が計測器の装着の影響を上回ったものと考えられた。以上のことから、本研究で作成した計測器により実海域でマアナゴの入筒時刻を計測することは有効であると考えられた。

マアナゴの入筒時間帯 入筒の時間帯は、筒投入から 1 時間以内が 40% と最も高い割合を示した。あなご筒が投入された直後からその周辺のマアナゴを誘引して漁獲しているというのは、入筒時刻と Catch の関係からも推測できる。一般的に漁具能率が同じ場合、Catch の多い場所の方が資源の密度が高いとされている²²⁾。個々のあなご筒の漁具能率が同じと考えた場合、Catch の多い方が分布密度の高い漁場に投入されたと言える。Catch が 2 以下では時間帯における入筒の頻度に顕著な違いは見られなかったが、Catch が 3 以上になると時間帯における頻度に違いがみられた。いずれも頻度が突出して高いのは入筒から 1 時間以内であったことから、分布密度が高いところに漁具を投入した方が、早く入筒に結び付くと考えられた。そして、一般的に夜行性と言われるマアナゴであるが、得られた結果の 64% が日没前に入筒していた。この結果は、夜行性と言われている

Fig. 8 The number of experimental tubes into which conger eels entered in each time zone according to the casting depth (at intervals of 5 m).

Fig. 9 The number of experimental tubes into which conger eels entered in each time zone according to the temperature around the tube (at intervals of 2°C).

マアナゴが、日没前でも投入した漁具に入るという漁業者の経験則を支持する結果といえた。一方で、日没後に注目すると1時間以内と2時間から3時間の頻度が他の時間帯と比較して高かった。特に、2008年6月における16件では、筒投入後1時間以内の入筒が見られなかった。この月は、中ノ瀬北西部で実験を3回実施したが、いずれの操業も漁場に到着したときには、他船の筒漁具がすでに投入されていた。そのため、本船はそれを避けながら操業をせざるを得ない状況であった。すなわち、この6月は先に投入された筒に周辺のマアナゴが誘引されてしまい、後から入れた本船の筒は、日没後に活性の高まったマアナゴを、時間をかけて遠くから誘引して漁獲していたものと推測された。その結果、日没後2~3時間後の入筒ピークを生じさせたと考えられた。

計測器の有用性 本研究で開発した計測器は汎用品を組み合わせた安価な仕様となっている。コスト的にも負担が小さく、一度に複数の計測器を用いた実験を行なえるなど、先に述べた諸問題を解決することができる。今回開発した計測器は、漁具への装着方法を変えることで、あなご筒漁具以外の漁具にも応用が可能である。特に一つの漁具に対して漁獲対象魚が一個体ずつ漁獲される漁業で有効となる。一方で、あなご筒漁業では多いときには一筒に10尾以上のマアナゴが入ることがある。今回の調査では、複数尾漁獲された場合でも1尾目の入筒時刻しか計測できなかった。2尾目以降の入筒の時刻も記録できるようになれば、1尾目が日没前に入筒した場合でも、その後の入筒の傾向を明らかにすること可能になる。2尾目以降の入筒時刻を明らかにする方法として、水中カメラの利用も考えられるが、撮影の際の光源が入筒に与える影響が懸念される。そこで現在、計測計のトリガに利用したかえしの動きを、加速度ロガーやモーションディテクタを用いてモニタリングすることで2匹目以降の入筒を記録する方法を検討している。また本研究では、入筒時刻に関する要因（漁獲尾数、水深、水温）を単一要因として解析したが、これらは相互に作用していると考えられる。東京湾のあなご筒漁業の最適な操業時間を明らかにするためには、今後、入筒したマアナゴのすべての時刻を計測するとともにデータを蓄積することで、各種要因について多変量による解析も必要と考える。

謝 辞

操業実験を行うに当たり、全面的な協力と様々な助言を頂いた横浜市漁業協同組合柴支所所属あなご筒漁船第六金亀丸船長の斉田芳之氏に感謝する。また、実験に参加した東京海洋大学海洋科学部の柳沢光範をはじめとす

る学生諸君に感謝する。本論文を作成するにあたり、貴重なご意見、コメントを下さりました、査読者および編集委員の方々にも御礼申し上げます。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究（B）課題番号19780148）の交付を受けて行ったことを記し、ここに謝意を表す。

文 献

- 1) 有元貴文, 小倉通男, 井上喜洋. 沿岸底延縄漁業における漁具の浸漬時間の影響. 日水誌 1983; **49**: 705-709.
- 2) 平山信夫. マグロ延縄の漁獲機構に関する研究—Ⅲ—. 日水誌 1969; **35**: 629-634.
- 3) 平山信夫. マグロ延縄の漁獲機構に関する研究—Ⅳ—. 日水誌 1969; **35**: 635-640.
- 4) 小倉通男, 有元貴文, 井上喜洋. 沿岸底延縄漁業における浸漬時間と釣獲率. 日水誌 1980; **46**: 763-766.
- 5) 平山信夫. 漁具相互間の漁獲選択性の比較. 「漁具の漁獲選択性」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1979; 112-123.
- 6) 有元貴文, 小倉通男, 井上喜洋. 沿岸底延縄漁業における浸漬時間と釣獲率. 日水誌 1980; **46**: 963-966.
- 7) 有元貴文. 沿岸底延縄漁業における操業時刻の影響. 日水誌 1983; **49**: 1045-1048.
- 8) 小池 篤, 竹内正一. ワカサギ刺し網における漁獲の飽和について. 日水誌 1982; **48**: 1711-1716.
- 9) 鈴木朋和, 浜野龍夫, 林 健一, 永松公明. モクズガニ *Eriocheir japonica* De Haan, 1835 の入籠特性. 水大校研報 1998; **47**: 7-14.
- 10) 秋山清二, 有元貴文. 定置網の揚網間隔と漁獲量. 日水誌 1997; **63**: 340-344.
- 11) 秋山清二, Mulyono Baskoro S, 有元貴文. 小型定置網への魚群の入網時刻. 日水誌 1998; **61**: 738-743.
- 12) 内田圭一. 動物たちの不思議に迫るバイオロギング. 「IC タグでアナゴの資源管理」(日本バイオロギング研究会編) 京都通信社, 京都. 2009; 122-125.
- 13) 木村 重. 「魚の生態—海魚篇—」株式会社星雲社, 東京. 1978.
- 14) 末広泰雄. 「海の魚」ベースボールマガジン社, 東京. 1995.
- 15) 末広泰雄, 木村清志. 「随筆で楽しむ 日本の魚辞典 海水魚 I」株式会社河出書房新社, 東京. 2006.
- 16) 清水詢道. 東京湾のマアナゴ資源について(総説). 神水研研報 2003; **8**: 1-11.
- 17) 清水詢道. 東京湾のマアナゴ資源について—Ⅳ—. 神水研研報 2001; **6**: 1-5.
- 18) 本多直人, 藤田 薫. 刺網浸漬時間帯によるコクチバスの選択漁獲. 日水誌 2005; **71**: 60-67.
- 19) 光永 靖. ソデイカ針の動態と漁獲過程. 「テレメトリー水産動物の行動と漁具の運動解析」(山本勝太郎, 山根猛, 光永 靖編) 恒星社厚生閣, 東京. 2006; 107-116.
- 20) Sigler MF. Abundance estimation and capture of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) by longline gear. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000; **57**: 1270-1283.
- 21) 内田圭一, 東海 正, 胡 夫祥, 松田 皎. カバーネット法によるマアナゴに対するカゴ網の網目選択性. 日水誌 1998; **64**: 815-821.
- 22) 山口浩志. 日本海のホッコクアカエビ資源保護区について. 北水試だより 2005; **69**: 13-17.