

網糸の間隔を変えた場合の魚の行動*

中村善彦**・栗田嘉宥**

Fish reaction to vertical twine barriers with different distance between twines*

Yoshihiko NAKAMURA** and Yoshihiro KURITA**

Abstract: To examine the effectiveness of the vertical twine barrier the number of fish (Japanese parrotfish) swimming through the twine barriers with different distance between twines in 20 minutes was counted. The vertical twine barrier with twines 10 cm apart was completely effective and fish avoided it. The distance of 30 cm between twines was equally effective. At the distance of 60 cm between twines fish started to pass through the vertical twine barrier. The vertical twine barrier was almost completely ineffective with twines 120 cm apart and fish swam straight through it. Subsequently, concerning the decrease of effectiveness, the ratio of twine diameter (d) to mesh size (l) and apparent contrast between the vertical twine barrier and the surrounding background were discussed for different twine diameters with changing mesh sizes. The vertical twine barrier with the ratio more than 0.01 was effective for fish. The apparent contrast was changed with the distance between adjacent twines. Fish was kept in control by the vertical twine barrier at the apparent contrast showing violent variation.

1. 緒言

垣網は魚群の通り抜けを阻止し、遊泳方向を変えて身網に向かわせる機能が求められる。このことについて、井上ら(1987)は垣網の設置前後の魚群の行動から、その阻止・誘導効果が大きいことを示した。しかし、垣網の魚群に対する制御機能については、網糸の材料、太さおよび目合などによって異なることが報告されている。鈴木(1971)はマサバを対象に、阻止効果のある網糸の間隔は、縦糸の場合、ワラ縄(太さ9mm)、マニラトワイン(2.8mm)およびナイロン糸(0.9mm)でそれぞれ75、63および58cmであることを報告した。また、網糸の太さ d や目合 l の制御機能については個々の定量化された結果は得られていないが、両者の比“ d/l ”で検討されている。FRIDMAN(1968)は垣網の“ d/l ”を0.02~0.03にすることを提案し、余座ら(1976)は

日本周辺海域の垣網では0.01から0.02の間にあることを報告した。この他にも垣網の近くにおける魚の行動を現象的に捉えた研究は多くなされてるが、解析したものは非常に少ない。

本研究では魚の対網行動を視覚面から解析することを目的とした。前報(中村・松生, 1989)では大型円形水路を自由に遊泳する魚(イシダイ)の垂直に等間隔で張り合わせた網糸群に対する行動を、網糸の太さを変えて観察し、網糸群の制御機能が網糸の太さ、海水の濁りおよび遊泳速度に関係することを報告した。本報ではイシダイの網糸群に対する行動を、網糸の間隔を変えて観察し、網糸群の制御機能について検討した。さらに、網糸の間隔を広げると、魚が網糸の間を通過し始めた原因について、網糸のアパレントコントラストを網糸の間隔を変えて計測し、“ d/l ”との関係を検討した。

*1990年4月20日受理 Received April 20, 1990

**東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4-5-7

Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

2. 実験装置および方法

2-1. 網糸の間隔を変えたときの魚の行動
実験装置

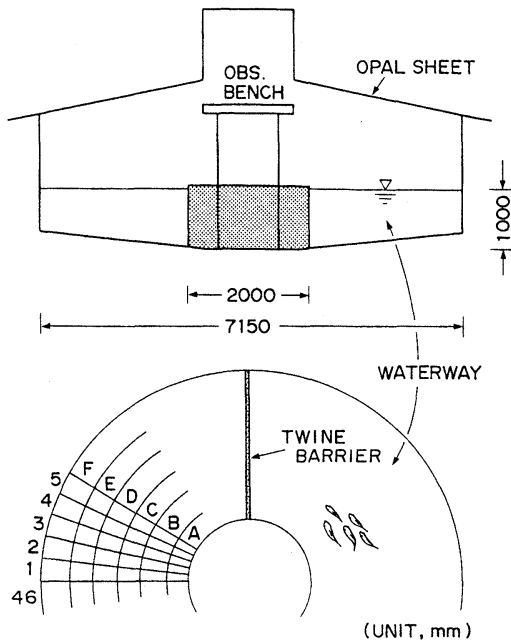


Fig. 1. Diagram of the experimental tank.

実験水槽には、東京水産大学坂田実験実習場の屋外に設置してある大型円形水槽の中心部を黒色の網で囲い、水路幅が2.6mのドーナツ形水路を作って用いた (Fig. 1)。水槽底には5本の同心円と46本の放射線を描き、水槽の上部を乳白色のビニールシートで覆った。水路にはこれと直交して網糸群を等間隔に垂下した。網糸にはポリエチレン製の三子撚り (オレンジ色) を用い、網糸の太さは7.8, 2.8および1.1 mmの3種類とした。網糸の間隔は10, 30, 60および120 cmとし、この場合の網糸の本数はそれぞれ25, 9, 5および3本であった。水槽水には光束消散係数が 0.3 m^{-1} の原海水を用いた。実験魚には、館山湾の定置網で採捕した全長が16~23 cmのイシダイ *Oplegnathus fasciatus* を用いた。

実験方法

実験は1985年10月から11月にかけて、午前8時30分から午後2時および午後6時30分から9時30分の間に行った。定置網で採捕したイシダイは、薄暗くした飼育水槽に1日から3日間収容した後、夕刻に実験魚5尾を選別し、実験水路に移し、約半日間放置した。イシダイが水路内を群れをなして、自由に遊泳することを確認したのち、魚群の遊泳軌跡を測定した。

次に、網糸群を原海水を満たした水路に設置して、網糸の間隔と魚群の行動の関係調べた。なお、水路内の網糸群の位置は、実験ごとに随時移動させた。1回の実験の測定時間は20分間とし、網糸の太さおよび間隔

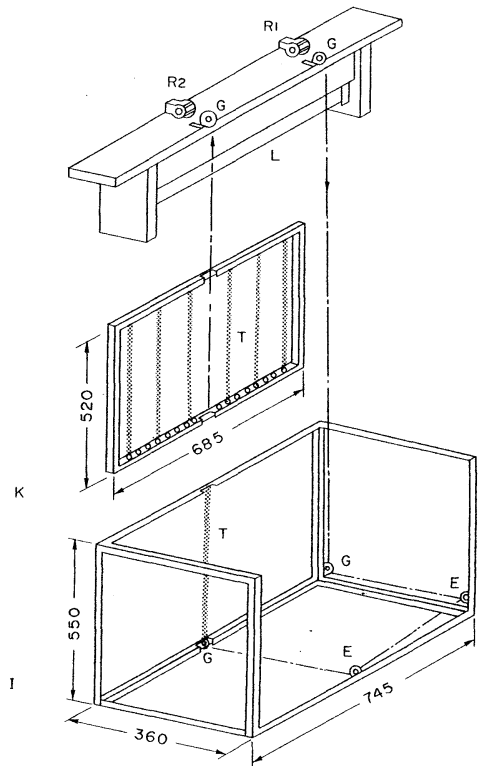


Fig. 2. Diagram of the experimental equipment. The equipments were fitted to the test tank (450×900×450 mm).

I, iron frame; K, cartridge; L, light; G, guide roller; E, eye ring; R, reel; T, twine.

を変えて繰り返し実施した。実験回数は延べ60回、海水および魚は毎日新しいものと交換し、使用したイシダイの総尾数は80尾であった。

測定は先頭の魚の反応行動と反応位置を目視観測し、その水路底の番地をテープレコーダに収録した。夜間の実験では5尾のイシダイのうち1尾の背びれに赤色ダイオード1個を取りつけ、群れの目印にした。実験開始前と終了後には、光束消散係数および水中照度を測定した。全実験中の水路内底部の中央部で測定した明るさは昼間では4000 lx以上であり、水温は20~22°Cであった。

2-2. 網糸の間隔を変えた場合のアパレントコントラスト

実験装置

網糸の反射輝度を背景輝度が一定のところ測定するため、鉄棒I、リールR1, R2, ガイドローラG, アイリングEおよび鉄製のカートリッジKから構成される

測定装置を作製し、実験水槽内に取り付けた。装置の各部分の概要を Fig. 2 に示す。実験水槽は高さ 45 cm、幅 90 cm および奥行き 45 cm であり、内側を黒色布で覆った。鉄棒 I は高さ 550 mm、幅 745 mm および奥行き 360 mm であり、測定用網糸を装着するためのものである。カートリッジ K は高さ 520 mm および幅 685 mm であり、網糸の間隔および方向を縦横に変えるためのもので、I の後部に取りはずしが出来るように装着した。いずれも黒色に塗装した。水槽前部の中央には幅 3 cm の反射輝度測定用の窓を設け、輝度計 BM-5 (TOPCON) を視角 0.1° で設置した。輝度計から測定用網糸までの距離は 41 cm であった。

水槽水には水道水を濾過器に通し、光束消散係数が 0.1m^{-1} の濾過水を用い、水深 40 cm まで注入した。

照明装置には 20W の白色蛍光灯 1 本をカートリッジ K の上方にオパールガラスを介して設置した。

供試用の網糸には、魚の行動観察と同じ材質で太さが 1.1, 2.8 および 7.8 mm および同色でテトロン製の 2.6 および 3.8 mm を用いた。網糸の間隔は 3, 6, 9, 12 および 15 cm とし、このときの網糸の本数はそれぞれ 19, 9, 7, 5 および 3 本であった。

実験方法

実験は暗室において実験水槽以外の明りを消し、周囲の光による反射の影響を排除して次の順序で行った。1) カートリッジ K に測定用と同じ太さの網糸を等間隔に張り合わせ、I に装着した。2) 測定用網糸を R1 から滑車 G、およびアイリング E を介して R2 へ通した。3)

R1 を巻くことによって測定用網糸の測定箇所を 14mm ずつ順次 10 回移動し、その左側、中央および右側について反射輝度を測定した。同時に背景反射輝度を測定した。以上について供試網糸の太さおよび間隔を変えて測定した。網糸間隔はカートリッジ K のみを取り出し変更することで水槽水の汚れを少なくした。測定は午前と午後の 2 回行い、水槽水はその都度交換した。供試網糸は水に馴染ませるため実験の 30 分前から濾過水に漬けた後用いた。

供試糸のアパレントコントラスト $C(r)$ は次式を用いて算出した。

$$C(r) = \frac{Bb(r) - Bt(r)}{Bb(r)} \quad (1)$$

ただし、 $Bb(r)$ $Bt(r)$ は、それぞれ距離 r における背景輝度および供試網糸の反射輝度を示す。

3. 結果と考察

3-1. 網糸の間隔を変えたときの魚群制御効果

原海水を満たした水路に魚群 (イシダイ) を移すと魚群は水路内をほぼ万遍なく遊泳した。水路上に定めた放射線を魚群が通過する回数は平均 28 回であった。

Fig. 3 は、光束消散係数 0.3m^{-1} の原海水を満たした水路内に太さ 2.8 mm の網糸を垂直に 10 cm 間隔 (網糸数 25 本) で設置したときの魚群の遊泳軌跡を示したものである。同図中シンボルマーク ▲ は種々の動作のうち反転した場合で、網糸群に最も接近した位置である。この位置の網糸群までの距離を反転距離と呼ぶことにし

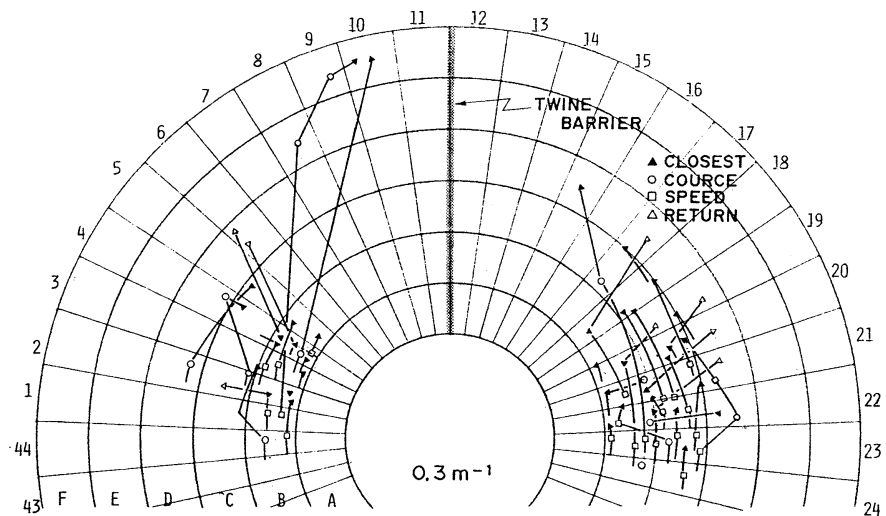


Fig. 3. Fish path to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with twines 10 cm apart in general seawater with an attenuation coefficient of 0.3m^{-1} in daylight.

た。また、○および□はそれぞれ遊泳方向および遊泳速度を変えた位置であり、■は網糸の間を通過した位置を示す。魚群は網糸群に接近するとその手前で反転し、さらに反対側から再度接近して反転する動作を繰り返し、網糸群を通り抜けることはなかった。このように網糸群設置の前後では魚群の行動が明白に異なった。

網糸の間隔を 30 cm (網糸数 9 本) に広げると魚群の行動は反転距離に変化が認められた。Fig. 4 は網糸間隔を 10, 30, 60 および 120 cm に変えた場合の各間隔における 5 回の実験の平均反転距離をそれぞれ示したものである。網糸間隔を広げると反転距離は減少する傾向

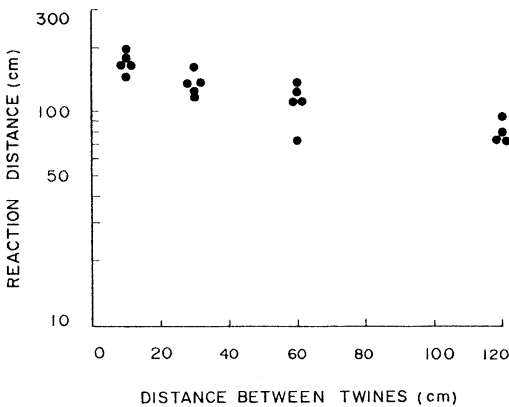


Fig. 4. Mean reaction distance to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with different distance between twines in daylight

Table 1. Ratio of crossing vertical twine barriers of 2.8 mm diameter with different distance between twines in daylight.

Distance between twines (cm)	10	30	60	120
Number of approaches	36	38	38	35
Number of crossings	0	0	4	15
Ratio of crossing*	0	0	0.1	0.3

* Crossings/ (approaches+crossings)

が認められた。この場合、魚は糸群の手前で一旦停止した後、再び接近する行動が多く認められた。

さらに、網糸の間隔を 60 cm (網糸数 5 本) に広げると魚は網糸の間を通過するようになった。Fig. 5 は網糸の間隔を 60 cm にした場合の魚群の遊泳軌跡の一例を 2.8 mm 糸について示したものである。Fig. 3 の場合と異なり魚が網糸の間を通過することが判った。また、Table 1 は原海水中において、網糸間隔を変えた場合の魚の接近回数、通過回数および通過率を 2.8 mm 糸について示したものである。何れも昼間における 5 回の観察結果を一実験当たり平均したものである。ここで通過率は、通過回数を接近回数と通過回数の和で除して求めた。網糸間隔が 10 cm では網糸群に 36 回接近、30 cm では 38 回接近していずれも通過回数は皆無であった。網糸間隔が 60 cm では一実験当たり 4 回の通過が認められた。この場合、魚は網糸群の手前で遊泳速度を落とし、躊躇する動作が認められた。しかし、通過するときには遊泳速度を増していた。さらに、網糸の間隔を 120 cm (糸数 3 本) に広げると、接近回数の半分に近い 15 回の通過が認められた。これは 60 cm の場合に比較し

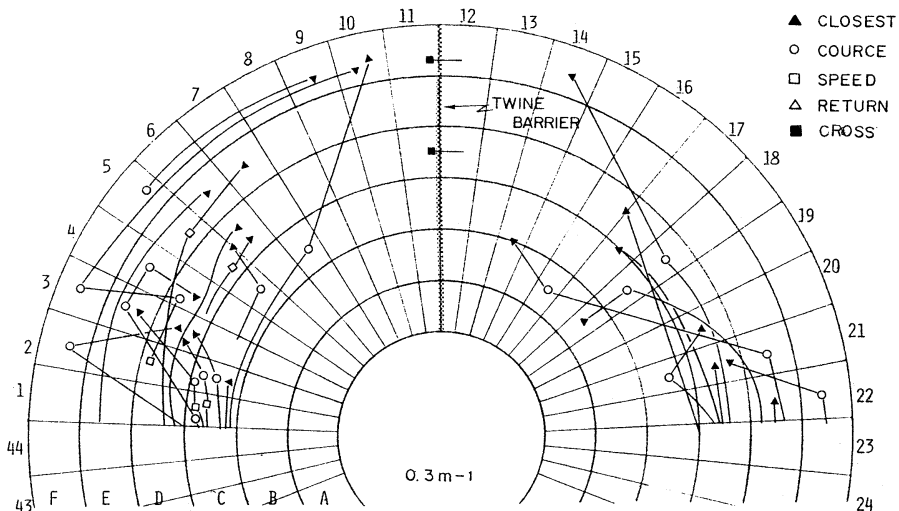


Fig. 5. Fish path to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with twines 60 cm apart in general seawater in daylight.

て倍以上大きかった。しかも、測定開始後すぐに通過が始まり、網糸群に対して躊躇する様子は認められなかった。これらのことから、網糸の魚群に対する阻止効果は間隔によって異なり、その限界は網糸間隔が 30 cm と 60 cm の間にあることが判った。

Table 2. Ratio of crossing vertical twine barriers with different diameters and different distance between twines in daylight.

Diameter (mm)	Distance between twines (cm)			
	10	30	60	120
1.1	0	0	0	0.4
2.8	0	0	0.1	0.3
7.8	0	0	0.1	0.2

Table 2 は網糸の太さを 1.1 および 7.8 mm に変えた場合の網糸群通過率を示したものである。網糸間隔が 10 cm および 30 cm では魚群の網糸群通過は認められなかったが、60 cm で通過が始まり、120 cm では通過が増すという同じ減少が認められた。120 cm 間隔では、通過率は細かい網糸で大きく、太い網糸では減少し、太さの影響が認められた。

Table 3. Ratio of crossing vertical twine barriers with different diameters and different distance between twines in darkness.

diameter (mm)	Distance between twines (cm)		
	10	30	60
1.1	0	0.1	0.7
2.8	0	0	0.3
7.8	0	0	0

Table 3 は夜間に実施した観測結果を示したものである。この場合、水中照度は 0.02~0.04 lx であり、インダイは明順応と暗順応の境目にあったもの（川村・下和田, 1983）と考えられた。網糸間隔が 10 cm では、魚群は夜間においても通過しないことが確認された。しかし、30 cm 間隔では 1.1 mm 糸で通過が始まり、60 cm 間隔では網糸の太さによる通過率の違いが顕著であった。

これらを総合すると、網糸間隔が 10 cm ではどの網糸においても魚群に対する阻止効果があった。30 cm 間隔では 2.8 および 7.8 mm 糸で有効であった。網糸間隔が 60 cm より広くなると制御機能は低下し、通過率は細い網糸で増加する傾向が認められた。

3-2. 網糸の太さおよび目合と魚群制御機能

魚群に対する網の制御機能は、網糸の太さ d と目合 l の比 ' d/l ' で評価される。例えば、FRIDMAN (1969) は垣網の ' d/l ' について 0.02~0.03 を提唱した。また、余座ら (1976) は日本周辺海域では、ほぼ 0.01 から 0.02 の間にあることを報告した。ここで、本実験で用いた網糸群について ' d/l ' を試算した。網糸の間隔と目合の関係は 網糸間隔 = 目合 $\times \sin 45^\circ$ (鈴木 1971) で表されており、この関係を用いて網糸間隔を目合に換算すると、網糸間隔 10, 30 および 60 cm はそれぞれ目合 14, 42 および 85 cm に相当する。これより、太さが 2.8 mm の網糸の ' d/l ' は、それぞれ 0.020, 0.007 および 0.003 となった。太さが 2.8 mm の網糸の場合では、10 cm 間隔が FRIDMAN (1969) および余座ら (1976) の結果に合っている。すなわち、網糸間隔が 10 cm では従来からの考え方に適合しており、本実験においても実際に魚群に対する阻止効果があった。一方、網糸間隔が 60 cm では ' d/l ' が 0.003 で魚群の通過が生じており、' d/l ' が小さくなると阻止効果が減少することが判った。同様に、太さが 7.8 mm の網糸の ' d/l ' を網糸間隔 10, 30 および 60 cm について試算すると、それぞれ 0.056, 0.018 および 0.009 であり、0.018 以上で阻止効果が認められた。また、1.1 mm 糸では、それぞれ 0.008, 0.003 および 0.001 になり 0.003 以上で阻止効果があった。これらに、夜間における結果 (Table 3 参照) を加味して総合的に検討すると、阻止効果の限界は ' d/l ' がほぼ 0.007 ~0.009 と考えられた。

3-3. 網糸の間隔を変えた時のアバレントコントラスト

' d/l ' と魚群行動の関係については、前述のように現象として示されているが、その根拠については解析されていない。水中に網糸群などのターゲットを置いた時、これに対する魚群の行動は主に視覚によることが報告されている (BLAXTER *et al.*, 1964)。そこで ' d/l ' についてアバレントコントラストの面から検討した。Fig. 6 は太さが 2.8 mm の垂直に張った網糸の間隔を変えた場合の 1 本の網糸のアバレントコントラストを示したものである。アバレントコントラストは (1) 式を用いて算出した。横軸には測定距離を 41 cm として、1 ラジアン当りの網糸の本数を対数で示した。網糸間隔が 3, 6, 9, 12 および 15 cm の場合における網糸の本数は、それぞれ約 14.9, 7.5, 5.0, 3.7 および 3.0 本になった。た

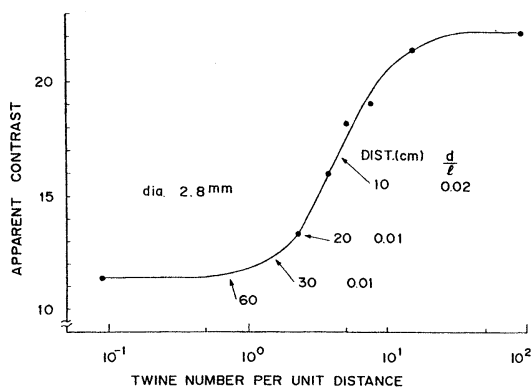


Fig. 6. Apparent contrast for different twine numbers of 2.8 mm diameter per unit distance.

だし、網糸が1本の場合、間隔は無量大であるが、他の網糸の光学的影響を受けない間隔として同図上では500 cmとした。また、間隔が0 cmは隣接した網糸同士が接触して布のようになっている場合である。シンボルマーク●は、網糸について14 mm毎に測定した反射輝度から求めたアパレントコントラスト10個の平均値である。同図より、アパレントコントラストは網糸間隔が広がると孤立した1本の網糸の値に近づき、狭くなると布地状の値に近づいた。両者の中間には変化の大きな部分が存在した。これらより、網糸の材質、色および太さなどの特性が同じでも、網糸群の場合は隣接する網糸の影響を受けてアパレントコントラストは変化するものと考えられた。

同図上 ' d/l ' が0.010および0.020は、それぞれ図の中央のアパレントコントラストの変化の激しい部分であった。' d/l ' が0.030は、その右寄りの網糸間隔5 cm(目合9 cm)に該当した。一方、魚群の通過が認められた ' d/l ' 0.003は左端の変化の緩やかな部分に該当した。

また Fig. 7 は太さが7.8 mmの網糸の間隔を変えた場合のアパレントコントラストを示したものである。' d/l ' が0.056および0.018の場合、アパレントコントラストの変化は大きく、網糸の間を通過する魚は皆無で、阻止効果が認められた。一方、' d/l ' が0.009の場合、アパレントコントラストの変化が小さく、通過が認められた。

これらから、アパレントコントラストの変化の大きい

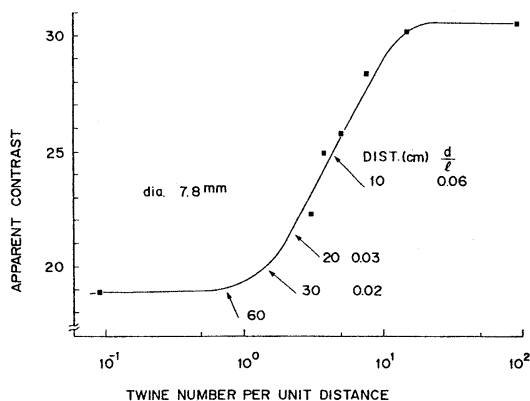


Fig. 7. Apparent contrast for different twine numbers of 7.8 mm diameter per unit distance.

部分では魚群制御効果が大きく、アパレントコントラストの変化の大きい垣網が経験的に使われていたものと考えられる。この原因については、アパレントコントラストの急な変化がチラツキ現象を呈し、魚の嫌忌性に結びついたことなどが推察されるが、さらに検討する必要がある。

文 献

- BLAXTER, J. H. S., B. B. PARRISH and W. DICKSON (1964): The importance of vision in the reaction of fish to driftnets and trawls. *Modern Fishing Gear of the World 2*, London, p. 529~536.
- FRIDMAN, A.L. (1969): Theory and design of commercial fishing gear (Translated from Russian by R. Kondor). *Israel Prog. Sci. Trans.*, Jerusalem, p. 320~381.
- 井上喜洋・長洞幸夫・渡部俊広・石田 亨 (1987): 定置網の張り建てによる魚群行動の変化。日水誌, **53**, 695~698.
- 川村軍蔵・下和田 隆 (1983): インダイの帯模様弁別能。日水誌, **49**, 55~60.
- 中村善彦・松生 治 (1989): 水中の濁りと魚の視力との関係(4) 濁った水中における魚の糸群に対する行動。うみ, **27**: 185~192.
- 鈴木 誠 (1971): 定置網に対する魚類の行動と漁具の機能に関する基礎研究。J. Tokyo Univ. Fish., **57**, 95~171.
- 余座和征・宮本秀明・酒井久則 (1976): 網糸の大きさと網目の大きさ。日水誌, **42**, 739~742.