

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網系群に対する行動*

中村 善彦**・松生 洽**

Relationship between turbidity of water and visual acuity of fish (4)

Fish reaction to twine barrier in turbid water*

Yoshihiko NAKAMURA** and Kanau MATSUIKE**

Abstract: The reactive distance to twine barrier and the number of crossing twine barrier were examined for different beam attenuation coefficients (wavelength of gravity center, 486 nm) after changing twine diameters with Japanese parrotfish *Oplegnathus fasciatus*. The reactive distance is estimated to decrease with increasing beam attenuation coefficient and the difference of distance in twine diameter to become small. No fish crossed at twine barrier in water with beam attenuation coefficients lower than 0.6 m^{-1} , while fish sometimes crossed over to the other side in the range higher than 1.0 m^{-1} . The twine diameters at the limit of fish crossing are calculated experimentally. For example, the twine diameters with a fish swimming speed of 60 cm/sec are 1, 3 and 10 mm for the beam attenuation coefficients 0.3, 1.0 and 1.5 m^{-1} , respectively.

1. 緒 言

近年、特に沿岸海域では海中の濁りが増している。海中の濁りは魚のターゲットの視認を妨げ、定置網を始めとする網漁具に対する魚の回避および通り抜けなどの行動と密接に関係する。従って、魚の対網行動を解析する場合、水中の濁りの魚の視覚への影響を定量的に把握しておく必要がある。第1報 (MATSUIKE *et al.*, 1981) では、魚(コイ)の視力および濁りの増加に伴う視力の減少を条件反射手法を用いて求め、懸濁粒子の視力に及ぼす影響を表わす実験式を導いた。第2報(中村・松生, 1985)では、濁った水中における視認限界のターゲットの大きさと距離の関係を求めた。第3報(中村・松生, 1989)では人為的影響の少ない魚(イシダイ)を用いて、餌に飛びつく距離を海中の濁りを変えて調べ、条件反射

手法で求めた結果との整合性を検討した。

本報では、人為的影響の少ない魚(イシダイ)を大型水槽で自由に遊泳させ、魚群の網系群に対する行動が濁りの変化に伴ってどのように変わるかを、糸の太さを変えて観察し、糸群の魚群制御効果を光学的視点から検討した。

網に対する魚の行動は、網糸の太さや目合いとの関係 (FRIDMAN, 1969; 小池, 1971; 鈴木, 1971; 西山, 1978), 網地の色やアパレントコントラストとの関係 (神田・小池, 1958a; 神田ら, 1958; BLAXTER *et al.*, 1964) および明るさの影響 (神田・小池, 1958b; BLAXTER *et al.*, 1964) について調べられている。このように魚の対網行動に関する研究は多方面から取り組まれているが、海中の光学的要因としての濁りの影響を調べた研究は非常に少ない。わずかに MURPHY (1959) がマグロについて曳縄と刺網による漁獲量の比と海水の透明度との関係を求め、濁った水中では刺網の方が効果的である結果を得ている程度である。

* 1989年6月15日受理 Received June 15, 1989

1988年5月学術研究発表会において一部発表

** 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

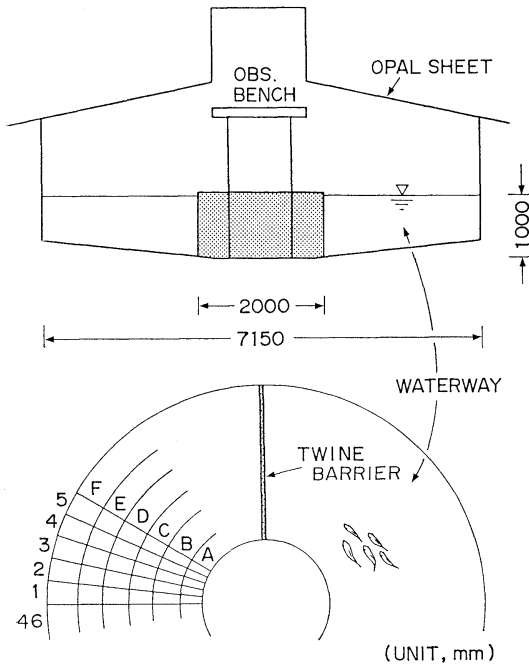


Fig. 1. Experimental tank.

2. 実験装置および方法

2-1. 実験装置

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、直径 7 m、水深 1 m の大型円形水槽を用いた。水槽の中心部を黒色の網で囲い、水路幅が 2.6 m のドーナツ形水路を作った。その概略を Fig. 1 に示す。水槽の上部を乳白色のビニールシートで覆い、太陽光が水路内を均一に散乱照射するようにした。水槽底には 5 本の同心円と 46 本の放射線を描き、魚の反応行動を番地で表示できるようにした。また、網糸群を水路に直交して等間隔で垂下した。網糸の材質にはポリエチレン製の三子撚り、網糸の色彩にはオレンジ色を採用した。網糸の太さはワラ縄に相当する 7.8 mm (300 d/30本)、現在多く使用されている 2.8 mm (380 d/75 本 2.5 kg)、および比較のためにさらに細い 1.1 mm (380 d/9 本 500 g) の 3 種類を用いた。網糸の間隔は魚体長を参考にして 10, 30, 60 および 120 cm とした。

濁り物質には、館山湾の川口付近で採取した海底土を熱処理し、海水に再懸濁させ、40 分間放置した後、その上澄み液を用いた。上澄み液を水路内に注入し、光束消散係数 (重心波長 486 nm) が 0.3, 1.0, 1.5 および 2.0 m^{-1} になるように調整した。光束消散係数が 0.3 m^{-1} の

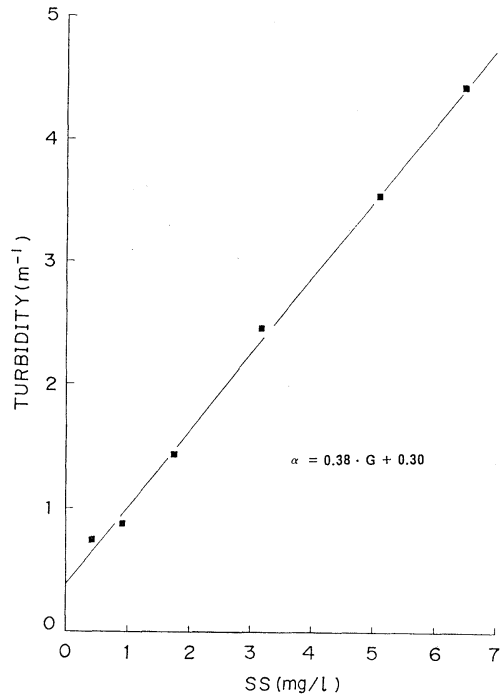


Fig. 2. Relationship between suspended particles (mg/l) and the turbidity (beam attenuation coefficient; wavelength of gravity center, 486 nm).

海水は湾内から取り入れたもので原海水と呼ぶことにする。

懸濁粒子に関しては粒子重量と粒径分布を測定した。粒子重量はミリポアフィルター HA (0.45 μm) で濾過した後、70°C で約 1 時間乾燥し、秤量した。光束消散係数 α (m^{-1}) と懸濁海底土の乾燥重量 G (mg/l) との関係を図 2 に示す。両者の間には次の実験式で示すような直線関係があり、相関は非常に高い (相関係数 0.9)。

$$\alpha = 0.38 G + 0.30 \quad (1)$$

このことから、懸濁物重量は光束消散係数 (重心波長 486 nm) で表示した。また、粒径分布は、コールターカウンターを用いて 1~30 μm の粒子について測定した。粒径分布は Fig. 3 に示すような正規分布をしており、表面積平均粒径は 4.4 μm であった。

海中の光束消散係数 α (m^{-1}) や距離 r (m) の変化に基づく網糸のアパレントコントラスト $C(r)$ は、DUNTLEY (1962) の式を用いて計算した。

$$C(r) = C(0) \exp(-\alpha r) \quad (2)$$

なお、 $C(0)$ は網糸の反射率を測定し、海中における背景の反射率を 0.02 (TYLER, 1968) として算出した。

その結果を Table 1 に示す。アパレントコントラストは最も濁った海水中でも距離が 250 cm までは 0.1 以上であり、魚のコントラストスレッシュョールド 0.05 に比べて大きい、300 cm になると 0.03 に低下している。

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。

2-2. 実験方法

実験は昭和60年8月から11月にかけて、午前8時30分頃から午後2時頃までに行った。定置網で採捕したイシダイは、薄暗くした飼育水槽に1~3日収容した後、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、魚群が通過しない網糸の間隔を調べる目的で、太さ 2.8 mm、間隔 10, 30, 60 および 120 cm の網糸群を原海水（光束消散係数 0.3 m^{-1} ）を満たした水路に設置して、魚群の行動を観測した。Table 2 は各網糸間隔における魚の接近回数、通過回数および通過率を示したもので、何れも昼間における5回の実験結果を、1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割ったものである。明らかに、網糸間隔が10および30 cm では100%通過しない。さらに比較検討のため、同じ観測を夜間（水中照度 0.03 lx ）に実施した。その観測結果を Table 3 に示す。両者の結果から、魚群は原海水中で網糸間隔を10 cm にすると全く通過しないことが確認された。これらの実験結果を考慮し、昼間の実験では、網糸の間隔を10 cm に固定して網糸群付近でのイシダイの行動を調べた。なお、水路内で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、光束消散係数および網糸の太さを変えて繰り返し実施した。総実験回数は250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120尾であった。

測定には2人が観測台に座り、魚群の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。

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。8月から11月の全実験中の水路内底部の中央部で測定した明るさは、4000 lx 以上であり、水温は $20\sim 22^\circ\text{C}$ であった。

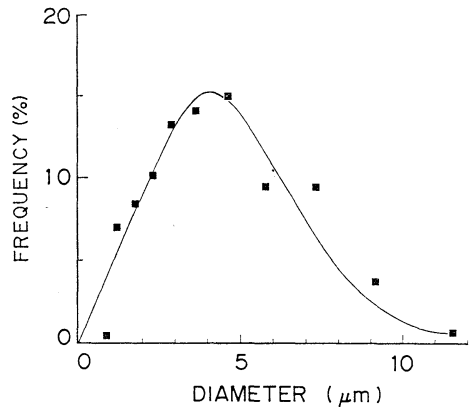


Fig. 3. Particle size distribution of sea bed mud used.

Table 1. Apparent contrast of twine for different turbidities after changing distance between fish eye and twine.

Turbidity (m^{-1})	Distance (cm)				
	100	150	200	250	300
0.3	8.8	7.6	6.5	5.5	4.9
0.6	6.5	4.8	3.6	2.6	2.0
1.0	4.4	2.6	1.6	1.0	0.6
1.5	2.6	1.3	0.6	0.3	0.1
2.0	1.6	0.6	0.2	0.1	0.03

Table 2. Ratio of crossing vertical twine barriers of 2.8 mm diameter in ordinary seawater after changing 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	0.01	0.4

* Crossings/(approaches + crossings).

Table 3. Ratio of crossing vertical twine barriers of 2.8 mm in ordinary seawater after changing distance between twines in darkness.

	Distance between twines (cm)		
	10	30	60
Number of approaches	30	27	12
Number of crossings	0	1	6
Ratio of crossing*	0	0.04	0.3

* Crossings/(approaches + crossings).

3. 結果および考察

3-1. 濁った水中における魚の網糸群に対する反応

原海水を満たした水路にインダイ 5 尾を移すと、魚群は水路内をほぼ万遍なく遊泳し、その時の遊泳速度は 20~60 cm/sec の範囲にあり、平均遊泳速度は約 30 cm/sec であった。

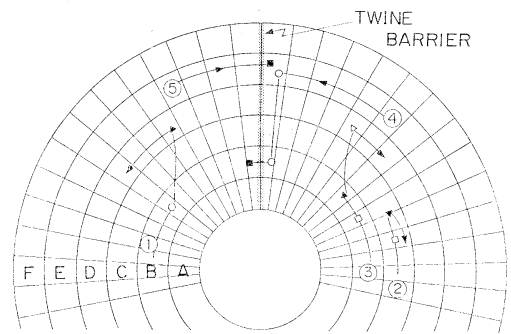
次に、太さ 2.8 mm、間隔 10 cm の網糸群を水路内に設置したときの魚の反応について、その代表的な行動例を Fig. 4 に示す。

- ① は水路に沿って遊泳してきた魚が ○ で遊泳方向を網糸群とはほぼ平行に変え、▲ で反転して遠ざかった例、
 - ② は □ で遊泳速度を急に落とし、▲ で反転した例、
 - ③ は □ で遊泳速度を落とし、▲ で遊泳方向を変え、△ で反転した例、
 - ④ は ○ で方向を変え、■ で網糸の間を通過した例、
 - ⑤ は網糸群に反応行動を示すことなく通過した例、
- をそれぞれ示したものである。ここで、▲ は網糸群に最も近い位置で、この位置の網糸群までの距離を反転距離とする。

Fig. 5 は原海水を満たした水路内に、太さが 2.8 mm の網糸を 10 cm 間隔で設置したときの、1 回の実験における魚群の遊泳軌跡の一例である。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た。この場合の大きな特徴は、魚群が 100% 網糸群を避けて反転したことである。その時の遊泳速度は 20~60 cm/sec の範囲であるが、反転後の遊泳速度は接近する時より速い傾向が見られた。また、網糸群に対する魚群の反転距離は最小 60 cm から最大 305 cm まで広範囲に分布しており、速い速度

で接近した時は小さく、ゆっくりと接近した時は大きい傾向が認められた。このように、網糸群を設置しない場合と設置した場合とは、水路内の魚群の行動が明白に異なることが分かった。

Fig. 6 は光束消散係数が 1.0 m^{-1} の場合の、1 回の実験における魚群の網糸群付近での遊泳軌跡の一例である。光束消散係数の増加に伴う反応の変化の一つは、反転位置が網糸群に近づいたことである。この時の遊泳速度は 20~100 cm/sec の範囲であった。Fig. 7 は前述の魚群の網糸群付近での遊泳軌跡をもとに、光束消散係数と反転距離の関係を示したものである。反転距離は広



TYPICAL TRAJECTORIES

Fig. 4. Typical reaction of fish to vertical twine barrier. Symbols ▲ and △ represent the closest point and final reversal point; ○, □ and ■ represent the point of changing course, speed and crossing to the other side of twine barrier, respectively.

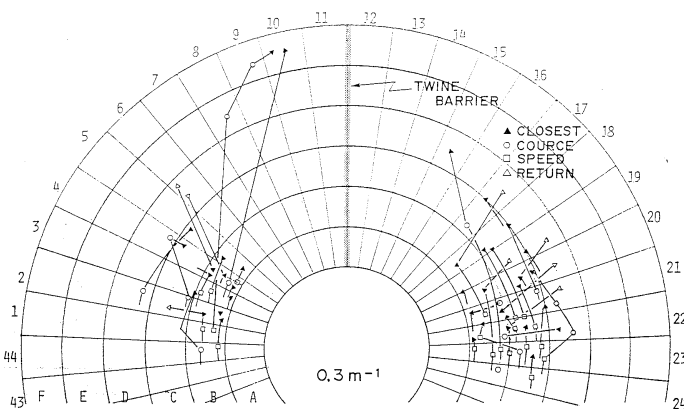


Fig. 5. Fish path to vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with twines 10 cm apart in ordinary seawater, turbidity of 0.3 m^{-1} . Same symbols as in Fig. 4.

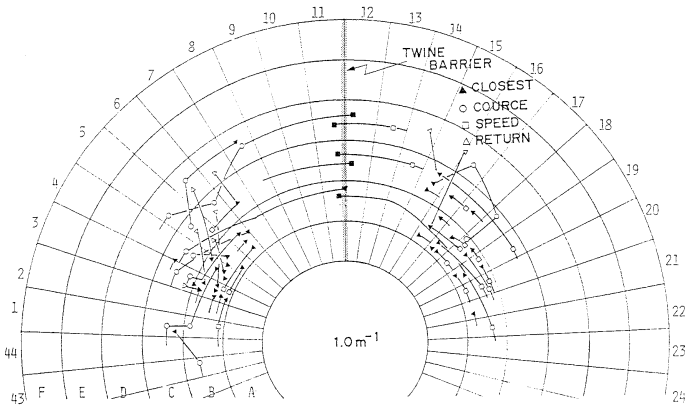


Fig. 6. Fish path to the barrier in turbid water of 1.0 m^{-1} . Same symbols as in Fig. 4.

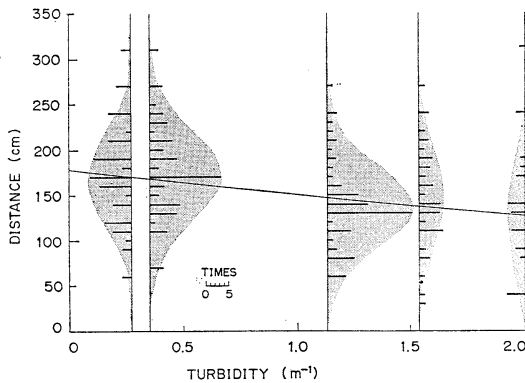


Fig. 7. Distance between the closest point of approach and twine barriers for different turbidities. Thick lines denote the number of times.

い範囲に分布しているが、光束消散係数が 1.15 m^{-1} 以下では平均値付近に集中している。しかし、 1.51 m^{-1} 以上では明確なピークは認められない。ここで、光束消散係数が $0.3, 1.0, 1.5$ および 2.0 m^{-1} における平均反転距離は、それぞれ約 $170, 150, 140$ および 130 cm になる。すなわち、反転距離 $DR\text{ (cm)}$ は光束消散係数 $\alpha\text{ (m}^{-1}\text{)}$ の関数として次のような実験式で表すことができる (相関係数 -0.9)。

$$DR = 178 \exp(-0.17\alpha) \quad (2)$$

光束消散係数の増加に伴うもう1つの変化は、魚群が網糸群の間を通過したことである。光束消散係数が 1.0 m^{-1} では魚群の一部は網糸の間を通過するが、他の魚群は網糸群の手前で急停止、あるいは網糸群に沿って遊泳

Table 4. Ratio of crossing vertical twine barriers of diameter 2.8 mm with twines 10 cm apart for different turbidities during 20 minutes .

	Turbidity (m^{-1})				
	0.3	0.6	1.0	1.5	2.0
Number of approaches	36	32	31	33	21
Number of crossings	0	0	3	3	8
Ratio of crossing*	0	0	0.1	0.1	0.3

* Crossings/(approaches + crossings).

した後、反転した。光束消散係数が 2.0 m^{-1} ではちゅうちゅすることなく網糸の間を通過した。以上の結果を用いて、網糸の太さ 2.8 mm 、間隔 10 cm の網糸群に対して魚群が通過する頻度を、1回の測定について整理し、光束消散係数別にまとめたものが Table 4 である。魚群が網糸群に接近する回数は、光束消散係数が 0.3 m^{-1} および 0.6 m^{-1} では、それぞれ 36 回および 32 回であるが、網糸群を通過した回数はいずれも皆無であった。光束消散係数が 1.0 m^{-1} では 34 回接近して 3 回の通過、 1.5 m^{-1} では 36 回接近して 3 回の通過がそれぞれ認められた。この場合の通過率はともに 10% 未満である。光束消散係数が 2.0 m^{-1} では、4回目の接近で魚群の一部が通過し、その後は網糸群に反応することなく通過が続くことが認められた。そのため、途中 (18 分) で実験を中止し、魚群の網糸群への接近回数は他の場合より少なくなっている。このように、魚群の網糸群に対する反応は濁りに大きく影響されることが分った。

3-2. 濁った水中における網糸群の視認限界距離

魚群は長大な水路を自由に遊泳しているので、その反応は遊泳速度に大きく影響され、ある遊泳速度で網糸群に接近する場合、網糸群を発見してから回避行動を起こ

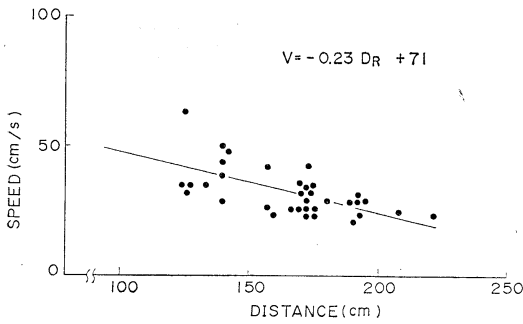


Fig. 8. Relationship between speed and distance of the closest point to twine barriers in ordinary seawater.

すまでに、ある時間的遅れが生ずるものと考えられる。すなわち、この間に接近時の遊泳速度に比例した距離だけ、さらに網糸群に接近することになる。このような観点にたつて、魚群の網糸群に対する視認限界距離と反応距離との関係について次のように検討した。

Fig. 8は、魚群が網糸群に接近するときの遊泳速度と反転距離との関係を原海水中で、網糸の太さ 2.8 mm、間隔 10 cm の場合について整理した結果である。この場合、遊泳速度 V (cm/sec) と反転距離 DR (cm) との関係は次式で表わされる (相関係数 -0.7)。

$$V = -0.23 DR + 71 \quad (3)$$

ここで、魚が網糸群を視認してから反転するまでの時間遅れ $4t$ (sec) を一定とすると、反転距離 DR (cm) と視認限界距離 DV (cm) および遊泳速度 V (cm/sec) の関係は次式で表わされる。

$$DR = RV - V \cdot 4t \quad (4)$$

(3) 式と (4) 式を用いて視認限界距離を算出すると、309 cm が得られる。この視認限界距離は、観測された反転距離の最大値 305 cm とほぼ等しい。また、太さが 1.1 mm の網糸群に対する魚の反応では、測定値の間に明確な関係が認められないこと、太さが 7.8 mm の網糸の場合は円形水路内の糸群に対する視認距離が 3.5 m が限界であることなどから視認限界距離を求めるには不適當であると考え、ここでは太さが 2.8 mm の網糸に対する視認限界距離を用いて線視力を求めた。

視力 Ac は、距離 L とターゲットの大きさ D から次式で求めることができる。

$$Ac = \left(120 \tan^{-1} \frac{D}{2L} \right)^{-1} \quad (5)$$

同式に光束消散係数 0.3 m^{-1} の水中における、太さ 2.8 mm の網糸の視認限界距離 305 cm を代入すると、インダ

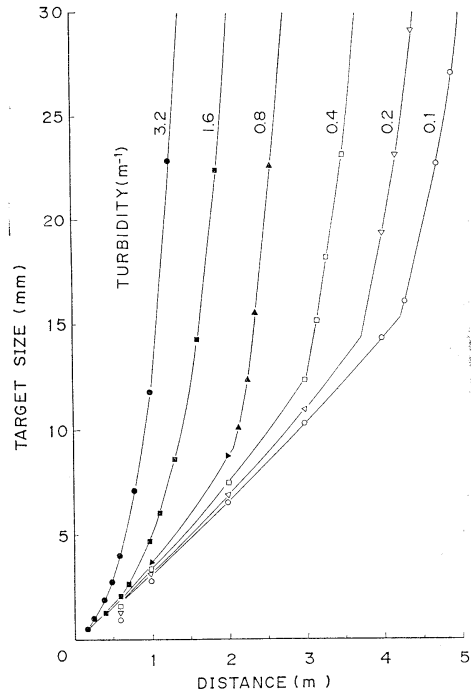


Fig. 9. Relationship between target size and distance at the limit of discrimination after changing the turbidity. Symbols \circ , \triangle , \square , \blacktriangle , \blacksquare and \bullet represent the values calculated from the experimental results in clear water and turbid water of 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 and $3.2 \text{ (m}^{-1}\text{)}$, respectively.

イの線視力は 0.32 になる。このインダの線視力 0.32 は、前報 (中村・松生, 1989) で求めた視力 0.09 の約 3.5 倍になっている。

線視力について、SCHWASSMANN (1974) は電気生理学的手法から、キンギョの分解能を 1.5 (線視力, 0.67) と報告している。これに対し HESTER (1968) は、キンギョの視力について 0.05 の結果を得ている。両者を比較すると、線視力は視力の約 13 倍になり、視力より大きくなるのが理解できる。

次に光束消散係数が増すと、網糸の視認限界距離はどのように変化するかについて検討した。前報 (中村・松生, 1989) で、コイとインダの視力がよく整合していることから、条件反射手法で求めた結果を用いて現場の魚の反応行動を解析できることを確認した。さらに、前述のようにインダの線視力は視力の数倍であることを明らかにした。すなわち、太さが 2.8 mm の網糸に対するインダの視認限界距離は 305 cm であり、この視認限界距離は小さなターゲットの視認限界距離を数倍した

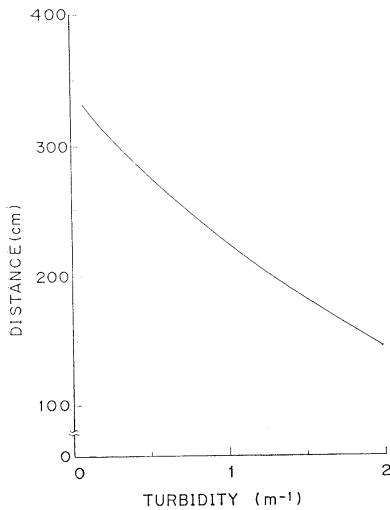


Fig. 10. Distance at the limit of discrimination to twine barriers for different turbidities after changing twine diameter.

もので、光束消散係数が増すと小さなターゲットと同じ勾配で減少するものと考えた。そこでまず、第2報(中村・松生, 1985)で求めた視認限界における距離とターゲットの大きさの関係(Fig. 9)において、光束消散係数が 0.3 m^{-1} で視認限界距離が305 cmに該当するターゲットの大きさを求めた。次に、その点から距離軸に平行に線を引き、光束消散係数別に視認限界距離を読み取った。

Fig. 10は、以上の結果を用いて光束消散係数が増したときの太さ2.8 mmの網糸に対する視認限界距離の変化を示したものである。同図をFig. 7の反転距離と比較すると、視認限界距離は光束消散係数が0.5以下では反転距離の最大値と良く一致している。光束消散係数が 1.5 m^{-1} 以上では魚の網糸群通過回数が増えて、反転距離のバラツキが大きくなり、反応行動の観察から反転距離を正確に特定することが難しくなり若干のずれを生じるが、全体的に見ればほぼ同じ傾向を示す。従って、光束消散係数の増加に伴う視認限界距離の減少勾配は第2報(中村・松生, 1985)で条件反射手法を用いて求めたコイの結果と整合性があるものと判断して検討を進めた。

3-3. 魚の網糸群通過のメカニズム

魚群がある遊泳速度 V で網糸に群接近すると、網糸群を発見してから回避行動を起こすまでに、ある時間的遅れ Δt を必要とする。この時間的遅れの間魚群が網糸群に接近する距離 $V \cdot \Delta t$ をAdvance (Adv)と呼ぶことにする。光束消散係数が増加すると網糸群を発見する距離が短くなり、最終的には、魚が網糸群を発見する

距離とが等しくなった時に、魚群は網糸群を通過すると考えた。このような観点にたつて、魚群が網糸群を通過する現象と光束消散係数の関係について以下のように検討した。

Adv (cm)は太さ2.8 mmの網糸群に対する魚の視認限界距離305 cmと反転距離DR (cm)との差であり、次式で表わされる。

$$\text{Adv} = 305 - \text{DR} \quad (6)$$

(3)式と(6)式からAdv (cm)と遊泳速度 $V(\text{cm}/\text{sec})$ の間には次式で示す関係が得られる。

$$\text{Adv} = 4.3V - 4 \quad (7)$$

以上から、魚の遊泳速度が与えられるとAdvが決まり、Advと視認限界距離が等しい時が網糸群通過の限界と考え、その時の光束消散係数を求めることができる。たとえば、視力がインダイに近いブリ(視力, 0.115; TAMURA 1957)が、遊泳速度60 cm/sec(町中ら, 1977)で網糸群に接近すると、そのAdvは(7)式から254 cmになる。このAdvに等しい視認限界距離を、Fig. 10上に当てはめて、光束消散係数を求めると 0.7 m^{-1} である。すなわち、太さ2.8 mmの網糸群を用いた場合、60 cm/secで遊泳する魚群に対して制御効果が生じる水中の光束消散係数は 0.7 m^{-1} であり、これより濁った海域では制御効果はないことになる。

3-4. 濁った水中における網糸の太さと魚群制御効果

以上の結果を用いて、魚群が網糸群を通過する限界の光束消散係数と網糸の太さの関係を遊泳速度別に求めた。

まず、網糸の太さと視認限界距離の関係が第2報(中村・松生, 1985)のコイの結果(Fig. 9)と整合性があることから、同図を用いて網糸群に対する視認限界距離を光束消散係数別に求めた。原海水におけるインダイの線視力は0.32として、視認限界距離は(5)式に網糸の太さを与えることによって算出できる。Fig. 9において、前節3-3と同様の手法を用いて、網糸の太さ毎に視認限界距離が光束消散係数 0.3 m^{-1} に該当する点を求めた。各点から距離軸に平行に線を引き、各光束消散係数毎の視認限界距離を求めた。この結果を用いて、網糸の太さと魚の視認限界距離との関係を光束消散係数別にFig. 11に示す。ここで、(7)式を用いて遊泳速度別にAdvを算出し、この距離を視認限界距離としてFig. 11上に直線を引くと、各曲線との交点は魚が糸群を通過する限界の網糸の太さに相当する。

Fig. 12は、網糸群を通過する限界の網糸の太さと光

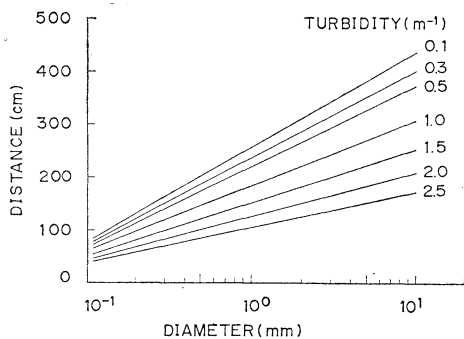


Fig. 11. Distance at the limit of discrimination to the twine barrier for different twine diameters after changing turbidity.

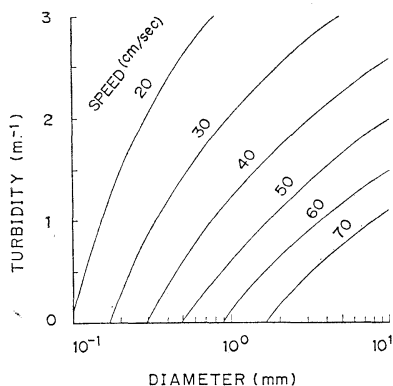


Fig. 12. Relationship between twine diameter and turbidity at the crossing limit of the barrier after change in speed.

束消散係数の関係を、遊泳速度別に示したものである。同図から、光束消散係数が変わると制御効果のある網糸の太さも変わることが分る。

このように、網糸の太さによる魚群の制御領域を判断するための一つの指針が得られた。このような観点から、従来の網を検討し、不合理な点を明らかにするとともに、各海域ごとの光束消散係数を把握し、光学的、力学的視点から適正な網糸の太さを求める必要がある。

謝 辞

本研究の実験に御助力いただいた東京水産大学坂田実験実習場小池康之講師ならびに技官の方々に厚く御礼申し上げます。

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, 529-536.
- DUNTLEY, S.Q. (1962): Underwater visibility. p. 425-455. In M.N. HILL (ed.), *The Sea*, I. John Wiley, London.
- FRIDMAN, A.L. (1969): Theory and design of commercial fishing gear (Translated from Russian by R. KONDOR, Israel). p. 320-381.
- HESTER, F.J. (1968): Visual contrast thresholds of the goldfish *Carassius auratus*. *Vision Res.*, 8, 1315-1335.
- 神田献二, 小池 篤 (1958a): 漁網の色に関する研究—I. 魚群の網目通過状況に関する予備実験. *日水誌*, 23, 612-616.
- 神田献二, 小池 篤 (1958b): 漁網の色に関する研究—IV. 照度変化が魚群の行動に及ぼす影響について. *日水誌*, 23, 680-683.
- 神田献二, 小池 篤, 小倉通男 (1958): 漁網の色に関する研究—II. 着色網地に対する魚群の行動および魚群の網目通過について. *日水誌*, 23, 617-620.
- 小池 篤 (1971): 5. 定置網に対する魚群の行動. *日水誌*, 37, 242-248.
- 町中 茂, 今村 明, 橋田 新 (1977): バイオ・テレメトリー・システムによるブリの行動生態に関する研究. *石川県水試研報*, 2, 1-20.
- MATSUIKE, K., Y. SHIMAZU and Y. NAKAMURA (1981): Relationship between turbidity of water and visual acuity of fish (1). *La mer*, 19, 159-164.
- MURPHY G.I. (1959): Effect of water clarity on albacore catches. *Limnol. Oceanogr.*, 4, 86-93.
- 中村善彦, 松生 治 (1985): 水中の濁りと魚の視力の関係 (2) 濁り濃度と視認限界における物標の大きさおよび距離. *うみ*, 23, 123-129.
- 中村善彦, 松生 治 (1989): 水中の濁りと魚の視力の関係 (3) 濁った水中における小さなターゲット(餌)に対する反応. *うみ*, 27, 19-24.
- 西山作蔵 (1978): 最新定置網の手引き. 株式会社北日本海洋センター. 640 pp.
- SCHWASSMANN, H.O. (1974): Refractive state, accommodation, and resolving power of the fish eye. p. 279-288. In M.A. ALI (ed.), *Vision in Fishes*. Plenum Press, New York.
- 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.
- TYLER, J.E. (1968): The Secchi disk. *Limnol. Oceanogr.*, 13, 1-6.
- TAMURA, T. (1957): A study of visual perception in fish, especially on resolving power and accommodation. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22, 536-557.