

インダイの視認限界における線の太さと距離の関係

| | |
|-------|-----------------------------|
| 誌名 | 日本水産學會誌 |
| ISSN | 00215392 |
| 著者 | 中村, 善彦 宮崎, 多恵子 宮崎, 唯史 |
| 巻/号 | 57巻2号 |
| 掲載ページ | p. 243-247 |
| 発行年月 | 1991年2月 |

インダイの視認限界における線の太さと距離の関係^{*2}

中村 善彦, 宮崎多恵子, 宮崎 唯史

(1990年7月19日受付)

Relationship between Line Width and Distance at Visual Limit

Yoshihiko Nakamura,^{*2} Taeko Miyazaki,^{*2} and Tadasu Miyazaki^{*2}

The relationship between width of line target and distance at the limit of discrimination was examined by means of the conditioned reflex method. Japanese parrotfish *Oplegnathus fasciatus* as experimental fish and distances from 50 cm to 200 cm were used. Target board was made of white acrylic resin with a vertical black line in the center. The width of line target was changed from 0.2 to 8.0 mm.

The width of line target at the limit of discrimination increased exponentially with an increase in the distance. The width of line target ϕ (mm) at the limit of discrimination was shown to be an exponential function of the distance L (cm) as follow,

$$\phi = \exp(1.768 \cdot 10^{-2} L - 2.287)$$

ターゲットの近くにおける魚の行動は主に視覚に関係することが知られている。¹⁾ 前報²⁾では条件反射手法を用いてインダイ *Oplegnathus fasciatus* の単線視力 0.63 を求め、視力^{3),4)}に比べてかなり大きいことを明らかにした。この場合、単線視力に対する水中照度の影響は清澄な海中では 3 lx 以下のかかなり低い照度で現われた。また、海中の濁りを増すことによって水中照度が減少すると、単線視力は 3 lx よりかなり明るいところで減少した。また、中村と松生⁵⁾はターゲットまでの距離を 20~60 cm に変えた場合におけるコイの眼の分解能は清澄な水中ではほとんど変わらないが、濁った水中では距離の違いによって変化することを報告している。このことから、清澄な海中でも距離をより長くした場合、分解能は低下することが考えられる。

そこで本報では魚が視認できるターゲットの太さと距離の関係を条件反射手法を用いて求めた。ターゲットまでの距離は 50~200 cm に変え、ターゲット(線)の太さは 0.2~8.0 mm まで変化させた。さらに、視力に及ぼすターゲットまでの距離の影響について検討を加えた。

従来、視認限界距離は人間の眼を対象に、十分大きなターゲットについて、そのアバレントコントラストが閾値に達する距離として理論が確立されている。⁶⁾ いっぽう、魚の視認限界距離については透明度の良好な海中においても 30 m 以下であることが指摘されている。⁷⁾ また、垣網の魚群に対する影響は 40~60 m 付近で現われ

るものと推定されている。⁸⁾ しかし、小さなターゲットの視認限界距離についてはアバレントコントラストの他にターゲットの大きさが影響し複雑である。⁹⁾ Confer and Blades,⁹⁾ Confer *et al.*¹⁰⁾ および Vinyard and O'Brien¹¹⁾ らは供試魚に、それぞれ Pumpkinseed *Lepomis gibbosus*, Lake trout *Salvelinus namaycush* および Bluegill *Lepomis macrochirus* を用いて、小さいターゲット(餌)に対する反応距離を観察し、両者の間には一次関数の関係があることを述べた。この場合、観察は 0~30 cm あるいは 0~50 cm の短い距離で行なわれており、長い距離については行なわれていない。また、細い線の視認限界距離についての研究は見当たらない。

実験装置および方法

実験装置 魚を安定した状態で実験に使用することができるように、Fig. 1 に示すような実験水槽の一端に扇形をした飼育水槽 6 個を接続した装置を作製した。各飼育水槽にはそれぞれ扉 E を設け、任意の魚を 1 尾ずつ実験水槽に移動できるようにした。実験水槽は長さ 300 cm, 幅 60 cm および深さ 55 cm であった。中央部には左右の壁面から双曲線状にアクリル板を張り出させ、幅が 10 cm および長さが 90 cm の誘導路を作った。誘導路の中央には扉 I を取り付け、供試魚の出入りを規制できるようにした。また、誘導路内の扉 I から 30 cm 前方には仕切りを設け、水槽を左右に二等分し、並行する

*1 本論文の要約は平成 2 年度日本水産学会春季大会(東京)において発表した。

*2 東京水産大学(Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan)。

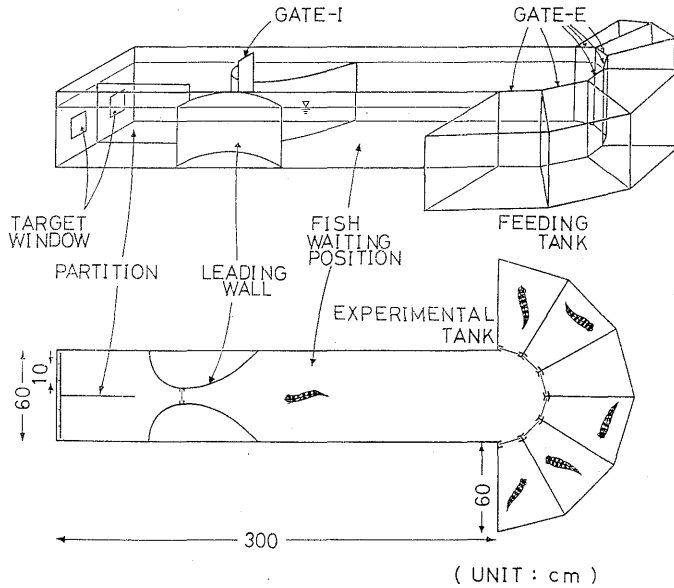


Fig. 1. Experimental test tank diagram.

2本の水路を作った。仕切り板の長さは 50, 100, 125, 150, 175 および 200 cm に変更できるように工作した。両水路の突き当たり壁面中央に、一辺の長さが 10 cm の正方形のターゲット用窓をそれぞれ設けた。ターゲット用窓の上辺は水面下 10 cm であった。これら実験水槽内の各部はすべて艶消しの黒色に塗装した。

ターゲットは一辺の長さが 10 cm の正方形の艶消し白色アクリル板で作り、中央に長さが 10 cm で、黒色の線 (インスタントレタリング) を 1 本、垂直に書き入れた。線の太さは 8.0, 6.0, 4.0, 3.0, 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3 および 0.2 mm の 13 種類とした。ここで、ターゲットまでの距離 r におけるアバレントコントラスト $C(r)$ は次式を用いて求めた。¹²⁾

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

ただし、 $Bt(r)$ および $Bb(r)$ はそれぞれ距離 (m) r におけるターゲットの黒色部および白色部からの反射輝度 (cd/m^2) である。

ターゲットの反射輝度は、ターゲット板を実験水路底に対して垂直、かつ、ターゲット用窓に平行に置き、輝度計 (Topcon BM-5) をターゲット用窓の外側に設置し、測定径 0.1° で測定した。線ターゲットの太さおよび窓からターゲットまでの距離はそれぞれ 0.2~8.0 mm および 50~200 cm に変えた。

水槽内は白色蛍光灯 8 本を用い、オパールガラスを介して均一に照明した。魚の遊泳層における水中照度は 300 lx とした。水中照度の測定には小型水中照度計 (Alec Electronics ALM-1) を用いた。

水槽水には光束消散係数が約 0.1 m^{-1} の濾過海水を用い、水深は 30 cm とした。実験中は止水とし、実験後は餌の残餌や匂いが残るのを避けるため流水とした。

供試魚には館山湾内の定置網で採捕された、体長 15~20 cm のイシダイ *Oplegnathus fasciatus* の 0 年魚 70 尾を使用した。

方法 実験は昭和 64 年 3 月から平成元年 8 月にかけて東京水産大学坂田実験実習場で行なった。条件反射手法を用いて、魚が視認できる最小のターゲットの太さを求めた。両水路のターゲット用窓には太さが 8 mm の線を書き込んだターゲットと無記入のターゲットをそれぞれ呈示し、線を書き込んだターゲットを呈示した水路に魚が進入した場合に、餌を 1 個与えて条件付けを行なった。条件付けは線ターゲットの位置を左右無作為に変えて 1 試行につき 10 回、1 日に 2 試行おこない、正解率 (正解回数/全実施回数) が常に 80% 以上になるまで繰り返した。この方法で、条件付けの完了までに約 80 日を要した。なお、仕切り板の長さは 50 cm とし、餌には皮をむいたオキアミを 5 mm ほどに裁断して用いた。

条件付けの完了した魚 2 尾について、視認距離および線の太さを変化させ、各条件につき、個別に 30 回ずつ正解率を測定した。

ここで、視認距離はターゲットから魚眼までの距離を示し、仕切り板の長さ等に等しいものとした。視認限界距離は小さい線ターゲットを視認できる限界の距離とした。

結 果

Fig. 2 は光束消散係数が約 0.1 m^{-1} の清澄な海水中において視認距離を 50 cm として、線ターゲットの太さを 0.2~8.0 mm までの間 8 段階変化させた場合の正解率を示したものである。測定値は、いずれも条件付けの完了した魚 2 尾について、個別に 30 回ずつ測定した正解率を平均したものである。正解率は線ターゲットの太さが 0.3 mm までは約 80% であったものが、0.2 mm では 50% 近くに低下している。魚が線ターゲットを視認できない場合、正解率は 50% に収斂するものと考えられるから、距離 50 cm における視認限界の線の太さは 0.3~0.2 mm の間にあると判断される。そこで、同データから正解率が有意な差として認められる限界を、危険率 1% として二項分布の片側検定を用いて求めると 65% になった。同図から、正解率 65% における線の太さは 0.23 mm が得られた。

Fig. 3 は視認距離をいろいろ変化させた場合の線の太さと正解率の関係を示したものである。水槽水の光束消散係数は約 0.1 m^{-1} であった。測定値は条件付けの完了した魚 2 尾に対して個別に 30 回測定した正解率を平均したものである。同図から、正解率は視認距離の増加に伴い低下することが判る。100 cm 以上の視認距離では線ターゲットを一方の水路に 5~6 回連続して呈示すると、線ターゲットを反対側の水路に移動しても魚は対応できず、線の書き込んでないターゲットの方へ進入する行動が、ときおり観察された。この場合でも、魚は水路

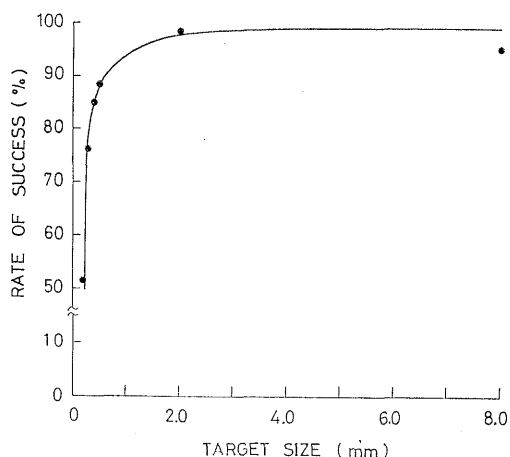


Fig. 2. The rate of success for different target sizes at a distance of 50 cm from the target in clear water of 0.1 m^{-1} . Underwater illuminance was 300 lx in the layer of 15 cm deep. Solid circle indicates the mean value of two fishes for 30 tests.

に入ったばかりのところ急停止して引き返しており、線ターゲットを視認できていたものと考えられる。このことから、正解率が低下した原因の一つは視認距離が長くなると、魚が線ターゲットに眼の焦点を合わすのに時間が掛かるため¹⁸⁾と考えられる。

同図から、前述のように統計的手法を用いて、視認距離ごとに魚が視認できる最小限の線の太さを求め、両者

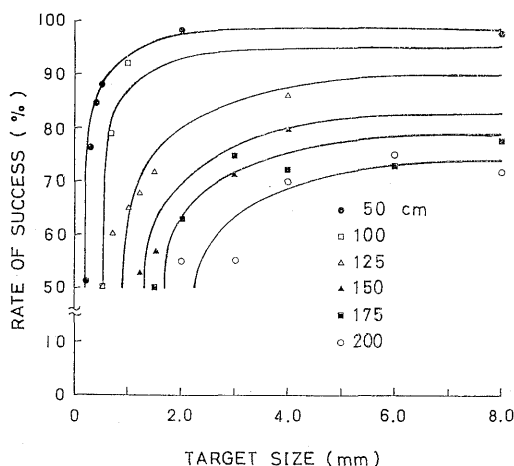


Fig. 3. The rate of success for different target sizes with changing partition length in clear water. Symbols ●, □, △, ▲, ■, and ○ represent the mean values at distances of 50, 100, 125, 150, 175 and 200 cm respectively.

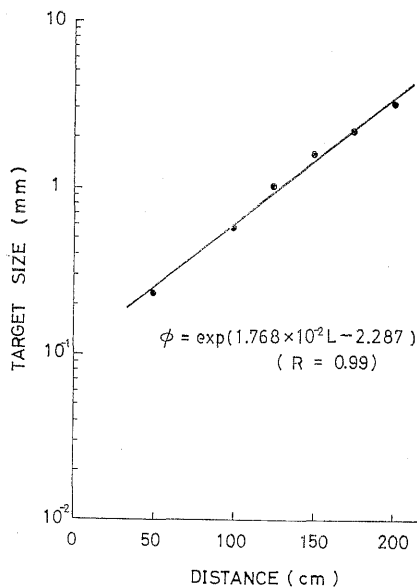


Fig. 4. The target size at the limit of discrimination for different distances. Solid circle was calculated on the basis of Fig. 3.

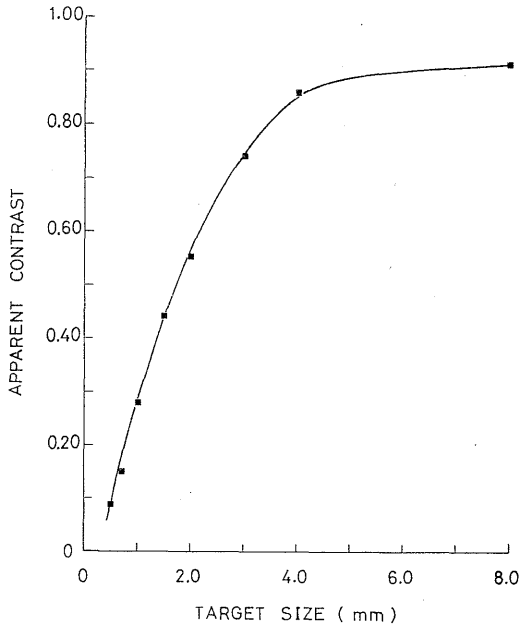


Fig. 5. Apparent contrast for different target sizes at a distance of 100 cm in clear water of 0.1 m^{-1} .

の関係を示したものが Fig. 4 である。同図から、視認距離が増すと視認可能な線ターゲットの太さは指数関数的に増加することが判る。この場合、視認限界距離 L (cm) と線ターゲットの太さ ϕ (mm) との関係は次の実験式で示される (相関係数 $r=0.99$)。

$$\phi = \exp(1.768 \times 10^{-2} \cdot L - 2.287) \quad (2)$$

このように、距離によって視認できるターゲットの大きさが大きく変化することは分解能が変ることを示すものと考えられる。

ここで、両者の関係について、視覚に影響を与える水中照度と線ターゲットのアパレントコントラストの面から検討した。水中照度については前報⁹⁾において、インダイの単線視力が 3 lx 以下で減少し始めることを明らかにした。本実験における遊泳層の水中照度は 300 lx であり、魚の視覚に影響しない十分大きな値である。また、Fig. 5 は視認距離が 100 cm における線ターゲットのアパレントコントラストを太さ別に示したものである。アパレントコントラストは線ターゲットおよび白色ターゲットの反射輝度を線の太さを変えて測定し、(1) 式を用いて計算した。視認距離は一定でも、線の太さを小さくするとアパレントコントラストは減少した。同図から、視認距離が 100 cm における視認限界の太さ 0.58 mm の線ターゲットのアパレントコントラストは 0.13 であることが判る。魚のアパレントコントラスト閾値は $0.05^{14)}$ および $0.02^{15)}$ が報告されており、インダイの場合

でも 0.13 は視覚に影響しない十分大きな値であると考えられる。同様の方法で、視認距離を $50, 100, 150$ および 200 cm に変えて視認限界におけるアパレントコントラストを求めると、それぞれ $0.11, 0.13, 0.44$ および 0.72 になり、いずれの値も十分大きい値となっている。したがって、本実験において視力が視認距離によって減少するのは、水中照度およびターゲットのアパレントコントラストが直接的には影響していないものと考えられる。

考 察

Confer and Blades⁹⁾は供試魚に Pumpkinseed を用いて、大きさ ϕ が $0.9 \sim 2.8 \text{ mm}$ の餌 *Daphnia magna* に対する反応距離 L を測定し、両者の間には一次関数の関係があると報告している (相関係数 $r=0.98$)。また、Confer et al.¹⁰⁾ は Lake trout について、大きさが $1.2 \sim 2.7 \text{ mm}$ の餌 *Daphnia pulex* に対する反応距離を測定し、前述と同様の結果を得ている。ここで、Fig. 6 は本実験結果に中村と松生、⁴⁾ Confer and Blades⁹⁾ および Confer et al.¹⁰⁾ の結果を片対数グラフに引用し示したものである。同図では、いずれの場合も相関係数は 0.98 以上を示しており、一次回帰の場合と同様に相関が高い。しかしながら、これらの引用した結果^{9,10)}はいずれも視認距離が 30 cm あるいは 50 cm 以下の短い距離で

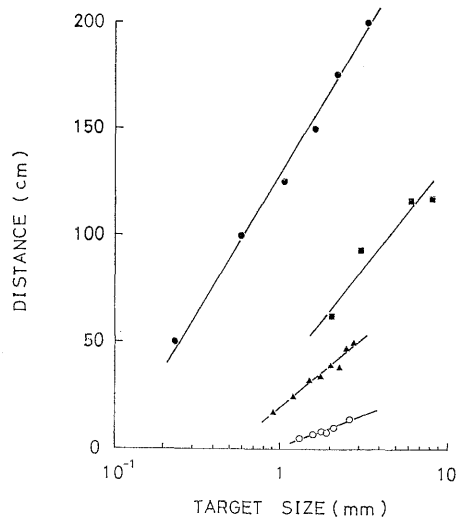


Fig. 6. The distance at the limit of discrimination for different target sizes. Symbols ● represent the experimental value. Symbols ■, ▲ and ○ represent the result of Nakamura and Matsuike⁴⁾ with *Oplegnathus fasciatus*, Confer and Blades⁹⁾ with *Lepomis gibbosus* and Confer et al.¹⁰⁾ with *Salvelinus namaycush* respectively.

行われたものであり、この範囲における両者の関係は一次関数でも指数関数でも大きな違いはないものと推察される。視認距離が 50 cm 以上の長い距離で実施された本実験の結果では、両者は指数関数の関係で表わす方がよいものと判断される。これらのことから、分解能は視認距離が 50 cm 以下では余り変化しないものと考えられる。

Fig. 6 からイシダイの小さいターゲット (餌) に対する視認限界距離はターゲットの大きさが 2 mm では 55 cm, 3 mm では 93 cm が得られる。本実験では (2) 式からそれぞれ 169 および 192 cm が得られ、小さいターゲットを対象にした場合と比較して 2 倍以上大きいことが判る。また、太さが 2.8 mm の網糸を間隔 10 cm で等間隔に垂下した網糸群に対するイシダイの視認限界距離は 305 cm¹⁵⁾であった。本実験では 189 cm であり、複数の線を対象にした場合と比較して、1 本の線の場合は太さが同じでも視認限界距離は小さくなる。

なお、分解能が視認距離の増加に伴って低下する原因については、今後さらに検討を加える必要がある。

文 献

- 1) J. H. S. Blaxter, B. B. Parrish, and W.

Dickson: *Modern Fishing Gear of the World*, No. 2, FAO, London, 1964, pp. 529-536.

- 2) 宮崎多恵子, 中村善彦: 日水誌, **56**, 887-892 (1990).
- 3) 川村軍蔵, 下和田隆: 日水誌, **49**, 55-60 (1983).
- 4) 中村善彦, 松生 治: うみ, **27**, 19-24 (1989).
- 5) 中村善彦, 松生 治: うみ, **23**, 123-129 (1985).
- 6) S. Q. Duntley: in "The Sea" (ed. by M. N. Hill), Vol. 1, I. Jhon Wiley, London, 1962, pp. 452-455.
- 7) 井上 実: 魚の行動と漁法, 恒星社厚生閣, 東京, 1978, pp. 64-69.
- 8) 井上善洋: 日水誌, **53**, 1135-1140 (1987).
- 9) J. L. Confer and P. I. Blades: *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 571-579 (1975).
- 10) J. L. Confer, G. L. Howick, M. H. Corzette, S. L. Kramer, S. Fitzgibbon and R. Landsberg: *Oikos*, **31**, 27-37 (1978).
- 11) G. L. Vinyard and W. J. O'Brien: *J. Fish. Res. Board Can.*, **33**, 2845-2849 (1976).
- 12) 黒木敏郎, 松生 治: 海洋環境測定 (黒木敏郎編), 恒星社厚生閣, 東京, 1982, pp. 18-70.
- 13) 田村 保: 魚類生理 (川本信之編), 恒星社厚生閣, 東京, 1970, pp. 451-479.
- 14) F. J. Hester: *Vision Res.*, **8**, 1315-1335 (1968).
- 15) P. D. Anthony: *J. Fish Biol.*, **19**, 87-103 (1981).
- 16) 中村善彦, 松生 治: うみ, **27**, 121-126 (1990).