

移動光幕に対するウグイの反応*

安 永一**・有元貴文**

Reaction of dace, *Tribolodon hakonensis*, toward the movement of light curtain*

Young-il AN** and Takafumi ARIMOTO**

Abstract: Reaction of dace *Tribolodon hakonensis* toward the movement of light curtain was studied in the circular channel. A light curtain was created by a sideways beam projector through a 1 mm slit of the center drum, and was rotated at five different speeds (4.7, 6.8, 9.4, 12.4, 17.3 cm/sec) with four levels of lighting voltage (40, 60, 80, 100 V). The results are as follows:

(1) The fish showed a tendency of escape behaviour by keeping a position in front of the moving light curtain, while an optomotor reaction was not clearly observed under any conditions. (2) The escape behaviour was more typical under the stronger contrast conditions of light curtain. (3) Under the weaker contrast conditions, the escape behaviour was more apparent at the slower movement of light curtain.

1. 緒 言

漁法への応用を目的として、水槽や水路内で魚類の遊泳方向を制御しようとする研究が数多く報告されている (PAVLOV, 1967; 井上, 1975)。これらの研究において魚類の視覚運動反応を利用する方法がよく知られているが、この場合の視覚目標としては黒白の縦縞模様を基本条件とし、その他にも網目模様や魚型模様などが用いられている (井上・近藤, 1972)。また光を刺激として利用した実験では水槽内での光源の移動 (井上・笹倉, 1973)、あるいは光の点滅によるみかけの移動 (有元・他, 1979b)、そして水槽内に投影した光束の移動 (有元・他, 1979a) や、スポットライトによるパターン模様を水槽底面に照射し、これを移動させる方法 (PARTRIDGE, 1982) などが報告されている。これらの実験の目的は光の移動によって魚に追従行動を解発することであるのに対し、ストロボ光 (PATRIC *et al.*, 1985; SAGER and HOCUTT, 1987) や断続光 (小池, 1989) などによって遮断、駆集効果を目的とした研究も多い。このように光刺激の条件によって魚の反応が異な

ることについて基礎的な検討を行うため、本研究では小型の円形水路を用い、移動光幕に対するウグイ *Tribolodon hakonensis* の反応行動を観察した。

2. 材料および方法

実験魚には体長4~6cmのウグイを用いた。実験水槽はFig. 1のように透明アクリル製の円形水路 (外径70cm, 水路幅20cm, 水深15cm) を用いた。水路外壁は黒い紙でおおい、実験魚に与える視覚的な影響を除去した。照明装置として水路内側に位置する光源を覆うように黒色円筒を置き、その円筒に幅1mmの垂直なスリットを設けた。このスリットを通して水路の内側から外側に向けて光が照射される。光源は白熱電球 (100V, 25W) で、照射光の明るさを変化させるためにスライダックスを利用し、光源の入力電圧を40, 60, 80, 100Vの4段階に設定した。またこの黒色円筒を変速装置付きのモーター (1/2HP) によって回転させ、光幕を移動させた。回転方向は時計回り、反時計回りのいずれにも自由に、また、速度も調節できるようにした。回転速度は5分間の回転数として9回から13, 18, 24, 33回までの5段階とした。このとき水路中央部での移動速度はそれぞれ4.7, 6.8, 9.4, 12.6, 17.3cm/secに相当する。

実験手順として、実験魚1尾を飼育水槽から暗室内の実験水路に静かに移して、60分以上暗順応させた。そ

* 平成2年12月1日受理 Received December 1, 1992

** 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

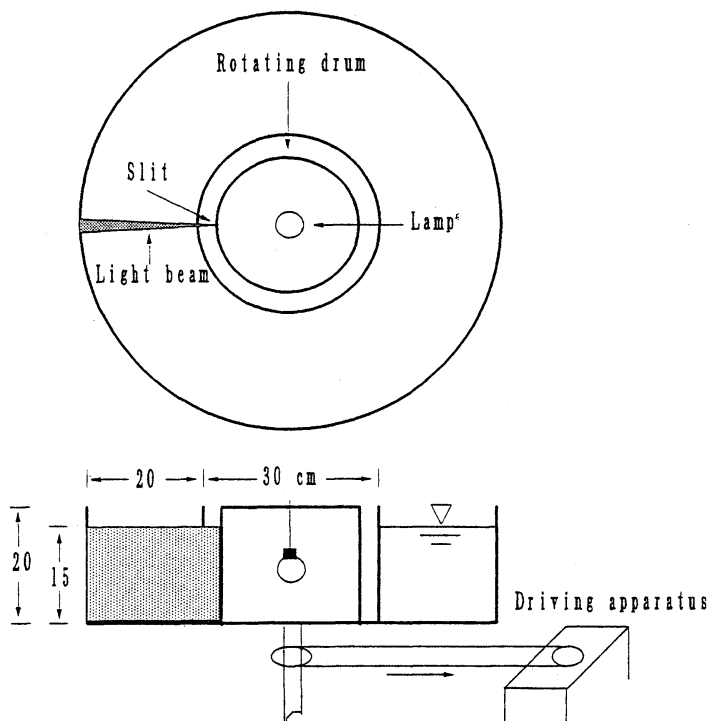


Fig. 1. Experimental apparatus with the light curtain projector, which is driven by a motor.

の後、光幕用電球を点灯し、その5分後から光幕を駆動装置によって時計回り方向あるいは反時計回り方向に最低速から順次5段階の速度で回転させた。これを1シリーズとして光幕用電球の入力電圧別に対して5シリーズずつ実験を行い、各速度段階について1分おき、5分間ずつ移動光幕に対するウグイの反応を観察した。

実験は1990年9月～11月にかけて東京水産大学魚群行動学実験室で行った。その間の実験水温並びに飼育水温は17.8～20.2℃であった。

3. 結果

照明装置による水路内の明るさについて、輝度計 (Topcon, SR-1) を用いて放射輝度を測定し、水槽内の照射中心からの距離別に Fig. 2 に示した。なお、入力電圧100 V の条件で照射中心部の放射輝度は $4.634 \times 10^{-3} \text{ W sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ であり、これを基準として80, 60, 40V の輝度を相対値として表した。同時に照度についても照度計 (Minolta, T-1) を用いて測定を行ったが、電圧40, 60, 80, 100V の場合、それぞれ中心部で約0.1, 1.1, 3.8, 8.6 lux であった。

Fig. 2 より、輝度は照射中心から3 cm までの距離内

で急激に減少するが、それ以後はあまり変わらなかった。このことから3 cm 以内の部位が幕状の光 (以下、光幕と称す) になっていることがわかる。

ここで、光幕の明るさにはコントラストという概念が用いられる。すなわち、コントラスト C は、光幕中央部の放射輝度 L と背景の放射輝度 (ここでは光幕中央部から20cm 離れた位置での放射輝度) L_b から、次のように定義される (ANTHONY, 1981; 森永・他, 1990)。

$$C = \frac{L - L_b}{L_b}$$

上の式で、40V, 60V, 80V, 100V の場合のコントラストはそれぞれ約22, 208, 486, 1173 であった。ここで40V, 60V の場合をコントラストが小さい条件、80V, 100V の場合をコントラストが大きい条件と取り分けた。

移動光幕に対する魚の行動は光幕の明るさと速度によって変化する。観察結果より移動光幕の回転方向に対し、同じ方向に泳ぐ場合と反対方向に泳ぐ場合の2通りがあった (Fig. 3)。ここで同方向へ泳ぐ場合について、光幕の前で逃げるように泳ぐ時を回避、光幕の後ろで追いかけるように泳ぐ時を追従と分類した。回避と追従の中でも、光幕が1周回転する間、光幕を通過することなく光

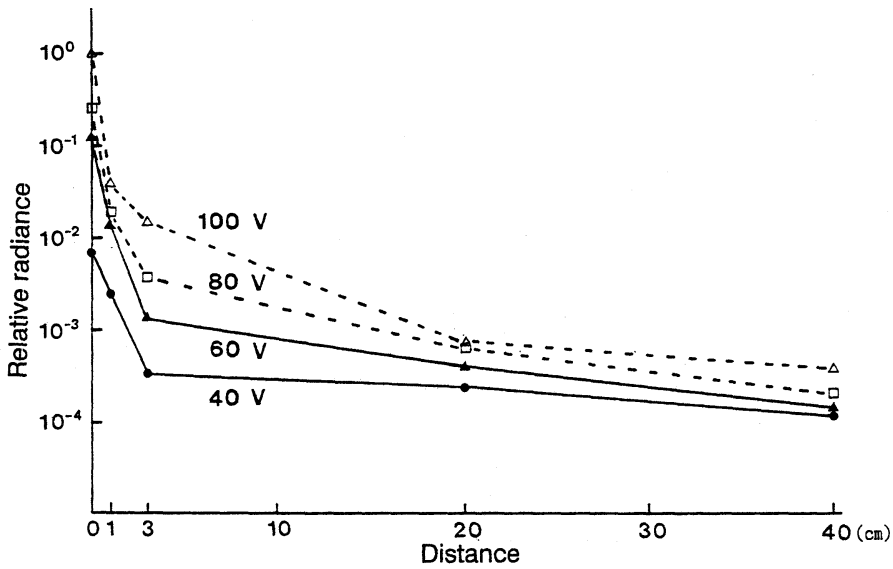


Fig. 2. Relation between relative radiance and distance from the center of light curtain, according to the input voltage of incandescent lamp (25W).

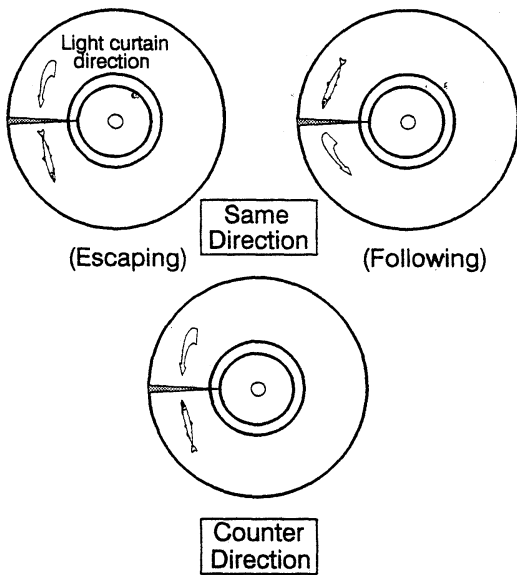


Fig. 3. Classification of behavioral patterns of fish to the rotating light curtain.

幕の前方あるいは後方の位置で続けて泳ぐ場合をそれぞれ連続回避，連続追従とした。これに対して光幕が1回転する間に光幕を通過してしまった場合を一時回避，一時追従とした。一方，光幕とは逆方向に遊泳して光幕を通過する場合を逆通過とする。これらの行動分類に従ってウグイの移動光幕に対する反応を観察，計数した。

Fig. 4は移動光幕に対するウグイの反応を全資料か

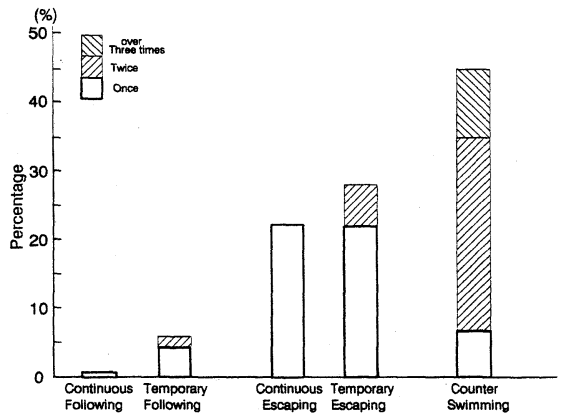


Fig. 4. Main patterns of fish reaction to the light curtain for each rotation. Left and right hatching show the behavioural succession for two and over three times, respectively.

ら行動パターン別に示した。視覚運動反応と判断された光幕への追従行動は連続追従で0.6%，一時追従で5.6%と全体中で極めて少なかった。これに対して，回避行動は連続回避で22.3%，一時回避で27.9%と追従行動に比べはるかに多かった。逆通過については，追従・回避行動と違って3回以上連続して見られる場合が多く，他の行動とは異なる傾向であった。

このように円型水路内でウグイは移動光幕に対して回避，追従，逆通過の様々な行動を示した。そのうち，比較的安定して同じ行動を示した連続回避について，光幕の回転数と遊泳回転数との関係をFig. 5に示した。視

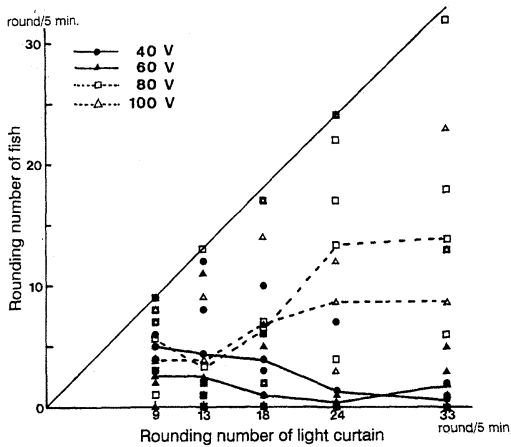


Fig. 5. Relation between the rounding number of fish and that of the light curtain, in case of continuous escaping, for 5 min. The lines represent the average trend for five trials in each lighting condition. Plots on the 45° line mean the complete escaping reaction through 5 min. observation.

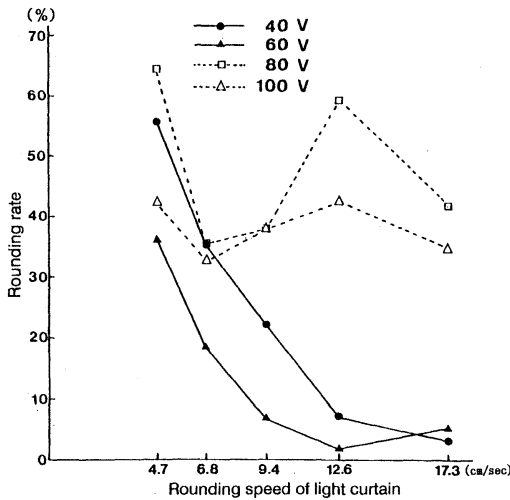


Fig. 6. Rounding rate of fish for the rounding speeds of light curtain according to the lighting voltage, for the continuous escaping and following behaviours, for 5 min.

覚運動反応による追従行動について個体により反応の異なることが知られているが (JONES, 1963; SHAW and TUCKER, 1965; INOUE, 1967), 回避行動についても同様に試行間の差が大きく, 光幕の回転数と一致して連続回避を続ける場合もあれば, 殆ど反応を示さない場合もあり, 5段階の移動速度を通じて反応に個体差が大きかつ

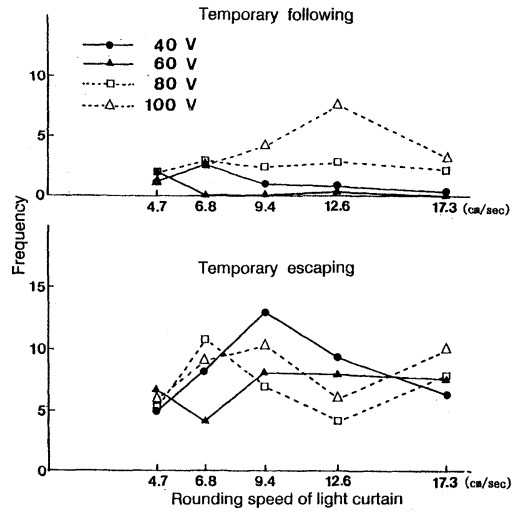


Fig. 7. The reaction of fish for the various rounding speeds of light curtain for 5 min., according to the lighting voltage, in case of the temporary following and escaping behaviour.

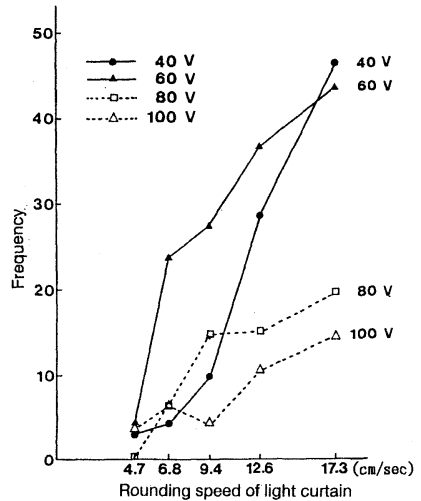


Fig. 8. The reaction of fish for the various rounding speeds of light curtain for 5 min., according to the lighting voltage, in case of the counter swimming against the light curtain.

た。光幕の明るさ別に5尾の平均値をとってみると移動速度が低い場合にはおおむね同様な結果がみられた。光幕速度を速めると, コントラストが小さい40V, 60Vの条件では回転数が減少する傾向が見られた。結果として全体的にコントラストの大きい80V, 100Vの条件で回避遊泳の回転数が増加する傾向が見られた。

ここで, 魚類の遊泳行動を一定方向に制御するという

目的に対して、光幕の移動と同方向に遊泳した連続回避・追従の遊泳回転数の平均値を光幕回転数に対する割合として求め、この同方向回転率をFig. 6に示した。コントラストが小さい条件では光幕速度の増加により同方向の回転率が減少する傾向がみられる。一方、コントラストが大きい条件では全体に回転率は高いが、速度の変化に対して一定の傾向は見られなかった。

光幕と同方向に遊泳した場合について、その行動が1周未満しか続かない一時的な同方向遊泳もしばしばみられ、このときの一時追従、一時回避の頻度をFig. 7にまとめた。一時追従反応は全体的に少なかったが、コントラストが大きい条件でやや増加する傾向があった。また一時回避反応については光幕速度並びにコントラストに対して特に傾向はみられなかった。これに対して、逆方向への遊泳行動はFig. 8にみられるように光幕速度の増加によって多くなり、またコントラストが大きくなって少なくなる傾向がみられた。すなわちコントラストが小さい条件40V, 60Vの場合は80V, 100Vより積極的に反対方向に泳いでいることを示している。このことはFig. 6で同方向の回転率が減少したことに対応しており、光刺激の条件によって逆方向の遊泳行動が主となることを示している。

4. 考 察

視覚運動反応による追従遊泳を解発する目的で、移動光源を視覚目標として用いる場合がある。例えば、有元ら(1979a)はニジマスについて、視覚目標として水槽内に投影した光束を12.6~45.2cm/secで回転移動させて追従反応を観察し、低速条件で比較的良好な視覚運動反応の解発されることを報告している。また井上ら(1973)は水槽で光源を12cm/secの速度で移動させ、カタクチイワシが光の移動に対して追従遊泳することを報告している。しかし黒木ら(1953)、高橋(1978)によれば、49~1050cm/secと高速で光を移動させた場合、嫌忌的な行動が起こることも報告されている。このように視覚運動反応を起こす上で、視覚刺激用の目標の移動速度は重要な要因となる(井上, 1975)。本実験で用いた4.7~17.3cm/secという光幕の移動速度は0.9~3.5 B.L./secに相当し、これまでの視覚運動反応に関する実験で検討された約1~4 B.L./sec(有元・他, 1979a, 1979b; 井上・近藤, 1972; 井上・笹倉, 1973; 井上, 1975; PAVLOV, 1967)の視覚目標移動速度とだいたい同じである。しかし、本実験ではどの速度条件に対してもウグイは視覚運動反応と認められる追従行動は示

さず、むしろ威嚇効果によると考えられる回避行動を示した。この原因の一つとして光照射方法の違いがあげられる。

まずスリットによる水路に照射された光幕のビーム幅の影響が考えられる。小池(1989)はマアジについて、照射光のビーム幅が狭い状態で点滅する場合に嫌忌性を示すと報告している。その他、威嚇刺激としてこれまでの実験で報告されている振り回し光束(黒木・中馬, 1953)、移動光膜(高橋, 1978)、ストロボ光(PATRICK *et al.*, 1985; SAGER and HOCUTT, 1987)などは何れも短い周期での明暗の差を用いているが、照射する時の光のビーム幅は一様に狭かった。また、灯下におけるカタクチイワシの群れ形成について、円形水路全体を照明した場合にはよくまとまった群れを作って泳ぐが、水路の局部照明の場合、局部光野のなかに集合する傾向は少なく、むしろ水路全体に分散する傾向がみられた。そして、局部光野を移動させた場合はさらにまとまりが悪くなった(井上・笹倉, 1973)ことも報告されている。

次に光源から照射される光の方向について、BEN-YAMI(1976)とNIKONOROV(1971)は照射光の方向によっては走光性の強い魚種であっても負の反応を示すことを指摘している。すなわち、魚種によって水上灯によく集まる魚種、水中灯によく集まる魚種、あるいは両方同時に利用した場合によく集まる魚種を分類しながら、適切な光源を選択することの重要性を指摘している。ニジマスが水槽の上部の移動光束に対しては追従遊泳行動を示した(有元・他, 1979a)が、水槽の側面の見掛け上の移動光に対しては負の反応を示した(有元・他, 1979b)こともこの原因と関係があらう。

一方、視覚運動反応では視覚目標と背景とのコントラストを強めることで高い追従反応を解発できることが知られているが(SHAW, 1965; PAVLOV, 1967)、本実験に用いた光幕条件ではコントラストが強い場合に回避反応を多く示した。以上の考察から本実験で用いた移動光幕はウグイに対して威嚇光として作用し、回避遊泳行動が解発されたものと考えられ、このような狭水路において魚類の行動を制御する手段として有効であると考えられる。

5. 要 約

移動光幕に対するウグイの反応を調べるため小型の円形水路を用いて実験を行った。実験条件として光幕用電球の入力電圧を40, 60, 80, 100 Vの4段階とし、また移動速度を4.7, 6.8, 9.4, 12.6, 17.3cm/secの5段階に変

化させた。

1. ウグイはどの条件に対しても視覚運動反応と認められる追従遊泳より回避遊泳を多く示した。
2. 光幕のコントラストが強い条件で回避遊泳が多かった。
3. 光幕のコントラストが弱い条件では、光幕の移動速度の遅い場合に回避遊泳が多かった。

文 献

- ANTHONY, P. D. (1981): Visual contrast thresholds in the cod *Gadus morhua* L. *J. Fish Biol.*, **19**, 87-103.
- 有元貴文・柴 宏有・井上 実 (1979a): 魚の視覚運動反応と漁法 IV. 移動光束に対するニジマスの行動. 東水大研究報告, **66**, 23-35.
- 有元貴文・柴 宏有・井上 実 (1979b): 魚の視覚運動反応と漁法 V. 点滅光に対するニジマスの行動. 東水大研究報告, **66**, 37-46.
- BEN YAMI, M. (1976): Fishing with light. Fishing News Books Ltd., London, pp. 38-48.
- INOUE, M. (1967): Observation on the swimming speed of fish in an annular trough- I. Effect of visual screen on goldfish. *La mer*, **54**, 237-243.
- 井上 実・近藤友義 (1972): 魚の視覚運動反応と漁法 I. 視覚模様と反応. 東水大研究報告, **58**, 9-16.
- 井上 実・笹倉邦夫 (1973): カタクチイワシの灯下におけるむれ形成について. *うみ*, **11**, 45-54.
- 井上 実 (1975): 視覚運動反応と魚類の行動. *うみ*, **13**, 79-90.
- JONES, F. R. H. (1963): The reaction of fish to moving background. *J. Exp. Biol.*, **40**, 437-446.
- 小池 隆 (1989): 断続光に対するアマジの行動反応に関する研究. 三重大生物資源紀要, **2**, 23-53.
- 黒木敏郎・中馬三千雄 (1953): 漁業用嫌忌光の研究-I 振り回し光束について. *日水誌*, **18**, 26-29.
- 森永 勤・小池 隆・松生 治 (1990): ベンガル湾におけるまぐろ延縄漁具の枝縄の水中視認距離. *うみ*, **28**, 117-122.
- NIKONOROV, I.V. (1971): Methods of continuous fishing. Israel Program for Scientific Translations Ltd., pp.20-43.
- PARTRIDGE, B. L. (1982): The structure and function of fish schools. *Scientific American*, **246**, 90-99.
- PATRICK, P. H., A. E. CHRISTIE, D. R. SAGER, C.H. HOCUTT and J., Jr. STAUFFER (1985): Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. *Fish. Res.*, **3**, 157-172.
- PAVLOV, D. S. (1967): The optomotor reaction of fish. *FAO Fish. Reports*, **62**, 803-808.
- SAGER, D. R. and C. H. HOCUTT (1987): Estuarine fish responses to strobe light, bubble curtains and strobe light/bubble-curtain combinations as influenced by water flow rate and flash frequencies. *Fish. Res.*, **5**, 383-399.
- SHAW, E. and A. TUCKER (1965): The optomotor reaction of schooling carangid fishes. *Anim. Behav.*, **13**, 330-336.
- 高橋 正 (1978): 移動光膜の魚類行動に及ぼす影響について. *日水誌*, **44**, 869-874.