

스트로보光에 의한 전갱이와 잉어의 網膜運動反應

安 永 一 · 有元貴文*

釜山水産大學校 · *東京水産大學

(1995년 9월 16일 접수)

Retinomotor responses of jack mackerel *Trachurus japonicus* and carp *Cyprinus carpio* to strobe light

Young - il An and Takafumi Arimoto

National Fisheries University of Pusan, *Tokyo University of Fisheries, Japan

(Received September 16, 1995)

Abstract

The retinomotor responses of jack mackerel, *Trachurus japonicus* and carp, *Cyprinus carpio* were studied for the different strobe flash frequencies in respects of the application of the light stimulus to herding and barrier system. The strobe flash frequencies ranged at 1.7, 5, 10, 25, 430Hz in jack mackerel and 1.7, 5, 25Hz in carp. The retinal adaptation ratio was examined histologically according to the time elapsed of 1, 5, 10, 30min. after turning on the light in each experimental condition. Cone index were determined in order to express the retinal adaptation ratio.

Jack mackerel showed an increase of the retinal adaptation ratio ranging from average 27% at the pre - stimulus light to 42.6%, 49.8%, 59.8% and 83.1% at the irradiation times of 1, 5, 10 and 30min., respectively.

Carp showed an increase of the retinal adaptation ratio ranging from average 28.4% at the pre - stimulus light to 51%, 53.9% and 91.3% at the irradiation times of 1, 5 and 30min., respectively.

The light adaptation process was observed to be fast approximately in order of 430Hz, 25Hz, 5Hz, 1.7Hz and 10Hz for jack mackerel, and 25Hz, 5Hz and 1.7Hz for carp, and to be light - adapted in 30 minutes.

緒 論

광자극에 의한 어류의 구집, 차단효과에 대해서는 斷續光¹⁾, 휘두르는 光束²⁾, 스트로보光^{3,4)} 등이 자극원으로써 이용되어 왔다. 그중에서도 특히 스트로보光은 최근에 위협광으로써 주목을 받고 있으

며, 어류의 회피반응에 대한 연구는 주로 행동반응을 중심으로 행하여 왔다.

한편, 어획기술에 관련하여 대상생물의 행동을 연구하는 경우, 생물의 자극-반응계에 있어서 현상과악에 그치지 않고 그 행동이 일어나게 하는 기구를 밝히는 것이 필요하여, 생리학적 연구수법의

도입이 검토되어 왔다. Hunter⁶⁾는 전갱이의 군집, 섭이행동과 밝기와의 관계를 검토하였는데, 야간에도 전갱이는 달의 밝기에 의해 표층에서 충분히 섭이할 수 있다고 보고하였다. 또한 川村⁸⁾는 망치고등어 *Scomber tapeinocephalus*에 대해서, Suzuki et al.⁷⁾은 오징어 *Todarodes pacificus*에 대해서, 長谷川 등⁹⁾은 고등어 *Scomber japonicus*, 정어리 *Sardinops melanostictus*에 대해서 어획물의 網膜의 순응상태를 조사한 연구결과를 보고하고 있다. 즉 조도조건과 網膜의 明順應, 暗順應상태의 관계를 시간대 별로 조사하여, 집어등 광원의 적정이용과 조업방법의 개선에 대해서 검토하였다.

前報^{3,9)}에서는, 스트로보光을 이용한 어류의 행동제어실험에서 가장 강한 위협자극 조건을 구하기 위하여 행동실험과 심전도실험을 행하였다. 그러나 광자극을 직접 수용하는 것은 網膜에 있는 광수용기이며, 스트로보光에 대한 網膜의 반응을 검토해서 회피반응을 일으키는 기구를 밝히는 것도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 스트로보光에 의한 어류의 명순응과정을 閃光頻度別로 조사하였다.

材料 및 方法

실험어는 체장 17~19cm의 전갱이, *Trachurus japonicus* 53마리와 체장 20~23cm의 잉어, *Cyprinus carpio* 29마리를 이용하였다. 수온은, 전갱이의 경우 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ 였고, 잉어의 경우는 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 였다. 실험은 암실에서 행하였는데, 실험어가 광자극을 받는 방향과 위치가 동일하도록 하기 위하여 유리수조(60×30×35cm, 수심 30cm)내의 아크릴케이스에 실험어를 수용하였다(Fig. 1). 스트로보光의 照射는 스트로보스코프(Sugawara, PS-204A)의 發光部를 실험어로부터 40cm 떨어진 위치에 설치하여 행하였다. 스트로보光 조건으로써 閃光頻度는, 전갱이의 경우가 1.7, 5, 10, 25, 430Hz의 5단계였고, 잉어의 경우는 1.7, 5, 25Hz의 3단계였다. 섬광시간은 1.7, 5Hz의 경우 22 μs , 10, 25Hz의 경우 20 μs , 430Hz의 경우 12 μs 로 대단히 짧다. 스트로보光의 세기는 광원으로부터

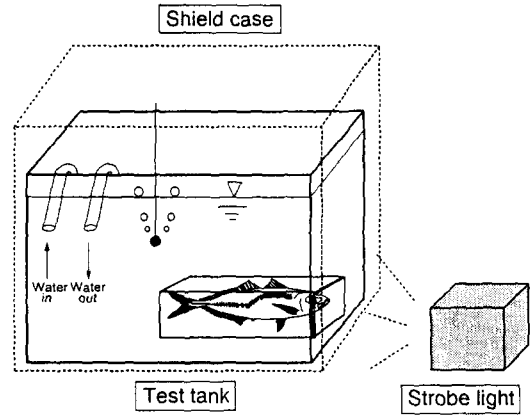


Fig. 1. Diagram of experimental apparatus for measuring the retinal light adaptation of test fish.

40cm 떨어진 곳(공기중)에서 스트로보光 측정장치(Minolta, II)로 측정하였는데, 1.7, 5, 10, 25Hz의 경우는 각각 415, 372, 75, 56lx.s였으나, 430Hz의 경우는 연속광에 가까운 광이 되기 때문에 측정되지 않았다.

실험순서는 각 閃光頻度별로 전갱이는 8시간 이상, 잉어는 6시간 이상 暗順應시킨 실험어에 대해서 스트로보光을 照射하는데, 眼球標本의 채취는 照射前에 3마리, 照射직 후부터는 1, 5, 10, 30분 경과마다 2~3마리의 양쪽 눈에 대해서 행하였다. 그러나 照射시간 10분인 경우, 5, 25Hz에 대한 잉어의 안구채취는 하지 못하였다. 채취한 각 표본은 bouin 액에 고정시키고, 4 μm 두께의 縱斷組織切片을 만들고, HE 염색을 실시해서 현미경 관찰을 행하였다.

明順應상태의 판정으로써 圓錐體指數를 측정하였는데^{10,11)}, 網膜의 色素上皮層의 基部(b)로부터 外限界膜까지의 폭(a)을 측정하고, 이 값에 대한 色素上皮層基部에서 원추체의 타원체 중심까지의 거리(d)를 백분율로 한 것을 圓錐體指數(C)라 하고, 順應率로 나타내었다. 즉, $C = d/a \times 100(\%)$ 이다(Fig. 2).

結 果

스트로보光에 의한 전갱이의 網膜순응상태는 Fig. 3과 같은데, 시간경과에 따른 順應率(圓錐體

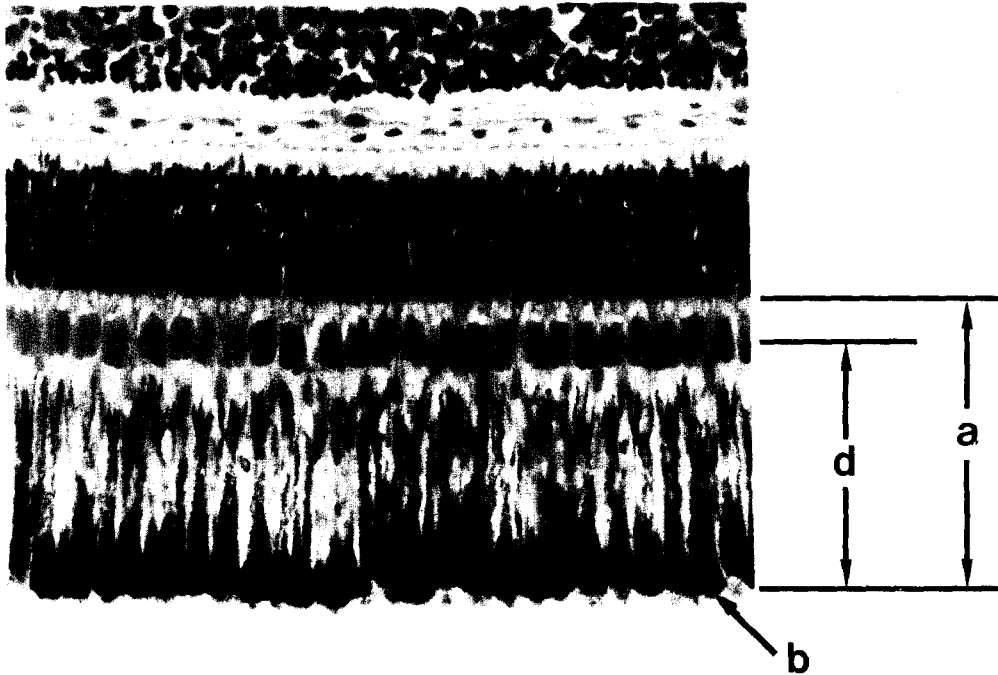


Fig. 2. Photomicrograph showing the position of the cones in the cross sections of the retina of *Trachurus japonicus* to examine the retinal adaptation ratio by cone index(C).

a : distance from b to out limiting membrane

b : base of pigment layer

d : distance from b to the center of ellipsoid of cone

$C = d/a \times 100\%$

指數=C)을 閃光頻度별로 나타내었다. 8시간 이상 暗順應시킨 전갱이로부터 채취한 개체의 順應率은 18~35%(C)이고, 이것을 완전한 暗順應상태로 하였다(Fig. 3). 順應率은, 照射時間 1분간에서 閃光頻度별의 차이는 거의 보이지 않았으나, 5분간 일때는 10Hz와 25Hz가, 10분간일때는 1.7, 5, 10Hz가, 30분일때는 1.7, 10Hz가 각각 다른 閃光頻度보다 높았다. 또한 順應率 값들을 照射時間별로 평균한 값은, 照射前의 27%가 1, 5, 10, 30분 경과시마다 각각 42.6%, 49.8%, 59.8%, 83.1%로써 점차 明順應상태로 되었다.

閃光頻度 1.7, 5, 10, 25Hz의 경우는 스트로보光 자극을 개시한 직후부터 원추체의 이동이 시작되었고, 자극을 완료한 30분후에는 順應率이 평균 84~90%(C)로 되었다. 한편, 1.7, 5, 10Hz의 경우는 원추체의 타원체가 外限界膜까지 거의 접하였다. 그러나, 閃光頻度 430Hz의 경우에는 照射開始

30분 후에서 평균 69%의 順應率이 되고, 전체적으로 明順應으로의 移行速度가 1.7, 5, 10, 25Hz 보다 늦었다. 한편, 스트로보光의 照射를 개시해서 10분까지에서는 1.7, 5, 10Hz의 경우가 25, 430Hz의 경우보다 順應率이 높아 明順應으로의 이행속도가 빨랐다. 특히, 10Hz의 경우는 照射開始해서 5분 이내에 明順應으로 급속히 移行하여, 順應率이 평균 58%(C)에 달하였다.

잉어의 明順應상태를 나타낸 것은 Fig. 4과 같은데, 6시간 이상 暗順應시킨 잉어로부터 채취한 개체의 順應率은 20~34%(C)로 이것을 완전히 暗順應된 상태라고 하였다. 順應率은, 照射시간 1, 5분 일때는 5Hz가, 30분일때는 1.7Hz가 각각 다른 閃光頻度보다 높았다. 또한 順應率 값들을 照射時間별로 평균한 값은, 照射前의 28.4%가 1, 5, 30분 경과시마다 51%, 54.9%, 91.3%로 되었다. 전갱이의 경우와 같이 스트로보光 자극을 개시한 직후부

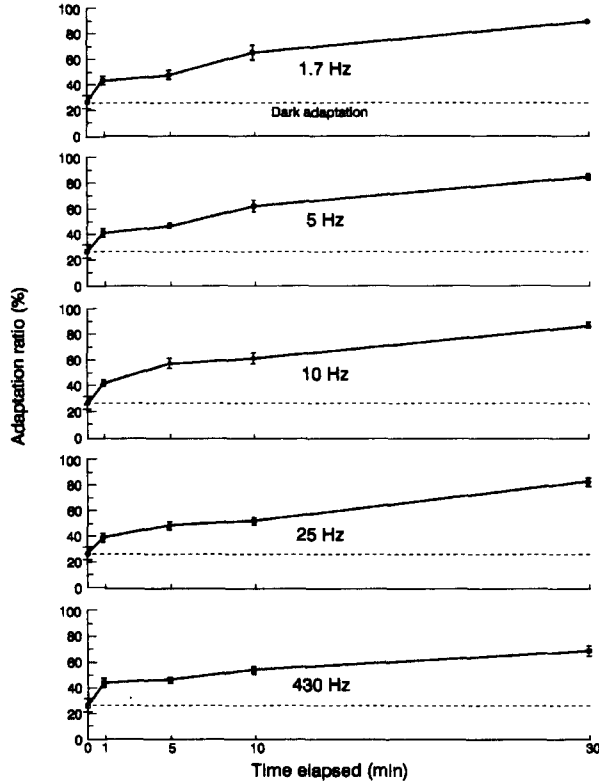


Fig. 3. The process of retinal light adaptation of the dark adapted jack mackerel to strobe light of different flash frequencies. The value at each point is given as the mean and standard error.

터 원추체의移行이 시작되었고, 자극을 종료한 30분후에는 順應率이 87~94%에 달하였다. 그러나, 1.7, 5Hz의 경우는 照射를 개시해서 5분간 이내에 明順應으로 빠르게 移行하여 順應率이 평균 54(C), 60%(C)에 달하였지만, 25Hz의 경우는 평균 48%(C)로 약간 늦었다.

考 察

網膜運動反應은 網膜의 시세포층에 있어서 간상체와 원추체가 광변화에 대응해서 이동하는 것으로, 어류에서 현저하다고 한다¹²⁾. 明順應의 개시 시간은 광조건에 따라 달라진다. 有元 등¹⁰⁾은 백열등을 이용해서 실험을 행하였는데, 수면에서 8000lx라고 하는高照度조건에서는 점등후 1분에서 이미 전갱이의 원추체의 이동이 시작하였으나,

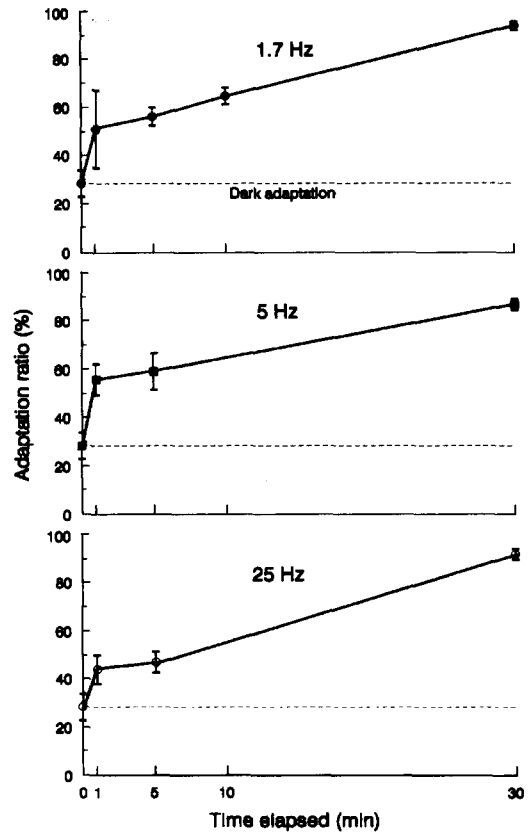


Fig. 4. The process of retinal light adaptation of the dark adapted carp to strobe light of different flash frequencies. The value at each point is given as the mean and standard error.

저조도조건(3lx)에서는 점등후 5분이라고 보고하고 있다. 川村¹³⁾은 백열등과 투광기를 이용해서 실험을 행하였는데, 망치고등어의 원추체의 이동개시가高照度(수면 2300~6600lx)에서 점등 10분후, 低照度(11~25lx)에서는 15분후라고 보고하고 있다. 또한 張 등¹¹⁾은 스트로보광을 이용해서 閃光頻度에 의한 전갱이의 網膜運動反應의 변화를 조사한 결과, 5, 10Hz의 경우는 1.7, 25Hz 또는 백열등을 이용한 경우¹⁰⁾보다 明順應으로의 移行速度가 빨랐다고 보고하고 있다. 본 실험에서도 실험으로써 전갱이를 이용해서 스트로보광의 閃光頻度에 의한 明順應過程을 조사한 결과, 1.7, 5, 10Hz에서의 順應率이 25, 430Hz 보다 약간 빨랐다. 또한, 잉어의 경우는 1.7, 5Hz의 조건이 25Hz 보다 약간 빨랐다. 그러나 上述한 바와 같이 스트로보광 측정

장치에 의한 스트로보광의 밝기는 閃光頻度가 낮아짐에 따라서 밝아지지만, 1.7, 5, 10Hz간의 明順應過程의 차이는 뚜렷하지 않았다. 이점에 대해서는 앞으로 다른 측정방법에 의한 검토가 필요하다.

스트로보광의 閃光頻도와 網膜의 순응상태에 대해서 검토하기 위해서는 網膜의 임계융합빈도(Critical fusion frequency)를 고려할 필요가 있다. 이것은 점멸하고 있는 광의 빈도가 어떤 일정 값 이상이 되면 점멸이 융합해서 연속광(正常光)과 같이 보이는 현상으로, 이 값이 높을 때는 시각의 시간적 분해능이 우수하다는 것을 의미한다¹⁴⁾. Kobayashi¹⁵⁾는 전갱이의 임계융합빈도가 수온 20℃, 조도 600lx의 조건하에서 32Hz라고 하였다. 또한 張·有元¹⁶⁾은 전갱이의 임계융합빈도가 暗順應상태에서 23Hz(수온 10℃), 明順應상태에서는 37Hz(23℃)라고 하였다. 잉어의 경우는 수온 13℃, 조도 760lx의 조건하에서 19Hz라고 보고되고 있다¹⁷⁾. 따라서 본 실험에 이용한 430Hz의 조건은 전갱이의 융합빈도를 넘어선 조건이라고 생각되며, 1.7, 5, 10Hz에 대해서는 실험어가 점멸광으로써 感受한다고 판단된다. 이것이 어류가 점멸광에 대해서 회피반응¹⁴⁾을 일어나게 하는 요인중의 하나라고 생각된다. 또한 점멸광은 非定常光으로써 시간적으로 광의 양이 변화한다. 광이 시간적으로 변화하고 있는 것을 평가하는 데는, 눈에 의한 밝기의 감각적 평가방법이 있다¹⁸⁾. 大山¹⁹⁾은 광감각에는 생리적 흥분의 時間加重效果가 있으며, 감각량은 자극량에 비례하는 關數라고 보고하고 있다. 이러한 사실로부터 점멸광으로써 감각량이 많을수록 위협효과는 크게 되고, 또한 順應率이 높게 된다고 생각된다. 따라서 전갱이의 경우, 順應率이 현저한 10Hz, 잉어의 경우는 1.7, 5Hz의 조건에서 감각량이 가장 많았다고 생각된다. 또한, 전갱이의 행동실험³⁾에서 10Hz가 위협효과가 가장 컸던 것은 감각량이 많았기 때문이라고 생각된다.

要 約

威脅光에 의한 어류의 행동제어개발을 위하여, 스트로보광에 대한 전갱이와 잉어의 明順應過程

을 조사하였는데, 스트로보광의 閃光頻度は 전갱이의 경우, 1.7, 5, 10, 25, 430Hz의 5단계, 잉어의 경우는 1.7, 5, 25Hz의 3단계로 하였다. 眼球標本 的 채취는 照射前과 照射直 후부터 1, 5, 10, 30분 경과마다 행하였고, 채취한 각 표본은 縱斷組織切片을 만들고 현미경 관찰을 행하였다. 網膜의 順應率은 圓錐體指數를 구하여 나타내었다.

照射시간에 따른 평균 順應率은 ;

① 전갱이의 경우, 光照射前의 27%가 1, 5, 10, 30분 경과시마다 각각 42.6%, 49.8%, 59.8%, 83.1%로 증가하였다.

② 잉어의 경우, 光照射前의 28.4%가 1, 5, 30분 경과시마다 각각 51%, 54.9%, 91.3%로 되었다.

明順應過程은 ;

① 전갱이의 경우 430Hz, 25Hz, 5Hz, 1.7Hz, 10Hz의 순으로,

② 잉어의 경우는 25Hz, 5Hz, 1.7Hz의 순으로 대략 빨랐다.

參考文獻

- 1) 小池 隆(1989) : 斷續光に對するマアジの行動反應に關する研究. 三重大生物資源紀要, 2, 23-53.
- 2) 黒木敏郎, 中馬三千雄(1953) : 漁業用の嫌忌燈光の研究 I. 振り回し光束について. 日水誌, 18, 468-471.
- 3) 安永一, 有元貴文(1994) : ストロボ光の威脅效果に關する行動生理學的研究-I. ストロボ光に對するマアジの回避行動. 日水誌, 60, 713-718.
- 4) 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. Fisheries Research, 3, 157-172.
- 5) Hunter, J. R.(1968) : Effects of light on schooling and feeding of jack mackerel. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25, 393-407.
- 6) 川村軍 薫(1979) : ゴマサバの視覺とその針漁法への應用に關する基礎的研究-IV. 針漁獲時の網膜の順應狀態. 日水誌, 45, 667-671.
- 7) Suzuki T., Inada H., and Takahashi H.(1985) : Retinal adaptation of Japanese common squid to light changes. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.,

- 36, 191 - 199.
- 8) 長谷川英一, 小林 裕, 丹羽 宏(1991): 集魚燈に集まる魚類の網膜運動反應の前・後半夜での比較. 日本誌, 57, 425 - 431.
- 9) 安永一(1993): 威嚇光刺激に対する魚類の反應とその制御に関する基礎的研究. 博士學位論文. 東京水産大學, 東京, pp.72 - 112.
- 10) 有元貴文, 渡邊 昇, 岡本信明(1988): 人工照明によるマアジの網膜運動反應. 東京水産大學研究報告, 75, 333 - 341.
- 11) 張 秀梅, 有元貴文, 井上 實(1989): ストロボ光によるマアジの網膜運動反應. 東京水産大學研究報告, 76, 65 - 72.
- 12) 川本信之(1975): 魚類生理生態學. 恒星社厚生閣, 東京 pp. 225 - 297.
- 13) 川村軍蔵(1979): ゴマサバの視覚とその針漁法への應用に関する基礎的研究 -Ⅲ. 網膜運動反應. 日本誌, 45, 553 - 555.
- 14) 宗宮弘明, 丹羽 宏(1991): “魚類生理學”(板澤靖男, 羽生 功 編). 恒星社厚生閣, 東京, pp.403 - 442.
- 15) Kobayashi, H.(1962): A comparative study on electroretinogram in fish, with special reference to ecological aspects. J. Shimonoseki Coll. Fish., 11, 17 - 148.
- 16) 張 秀梅, 有元貴文,(1993): ストロボ光によるマアジの ERG 臨界融合頻度. 東京水産大學研究報告, 80, 61 - 67.
- 17) 田村 保(1963): 魚の眼の機能の研究. 日本誌, 29, 75 - 89.
- 18) 照明學會(1987): 光をはかる. 日本理工出版會, 1987, PP.103 - 118.
- 19) 大山 正(1988): 視覚心理學. “視覚情報處理”(田崎京二, 大山 正, 桶渡涓二 編), 朝書店倉, 東京, 126 - 150.