

# 스트로보광의 자극효과에 관한 행동 생리학적 연구-Ⅲ - 스트로보광 강도에 의한 전갱이의 심박수변화 -

安永一<sup>†</sup> · 有元貴文<sup>\*</sup>

강원도립대학, <sup>\*</sup> 동경수산대학

## Physiological and Behavioral Studies on the Stimulating Effect of Strobe Light-Ⅲ - Heart Rate Change of Jack Mackerel by Strobe Light Intensity -

Young-II AN<sup>†</sup> and Takafumi Arimoto<sup>\*</sup>

Gangwon Provincial University, <sup>\*</sup> Tokyo University of Fisheries

### Abstract

Stimulus effects of strobe light on jack mackerel *Trachurus japonicus* were studied by measuring the heart rate change according to the different strobe light intensity of 5~75 lx·s. Heart rate was observed for 60 min: 10 min before, 30 min during and 20 min after the strobe light stimulus. The measurement of heart rate was repeated three times at 2 hour intervals.

The results showed that the heart rate increased during stimulus but temporarily decreased immediately after ending of stimulus. The heart rate changes in both during and after stimulus were decreased with reducing light intensities. The heart rate change according to the repeated experiment was not remarkably different under the lower light intensity.

Key words : Strobe Light Intensity(스트로보광 강도), Heart Rate(심박수), Jack mackerel(전갱이)

### 서론

집어등을 이용하는 광어법 연구에서 광자극에 관한 다양한 조사가 행하여졌다. 광의 강도, 파장 및 집어 효과에 관한 구조실험이 1950년대부터 시작되었다(Kawamoto and Konish, 1952; 今村, 1968; 岡正, 1972). 집어등 아래에 모인 어군을 유도하기 위하여 적응등과 유도등의 조건(安·梁, 1992)이 검토되고, 이동광원으로 어군행동(有元等, 1979)을 제어하기 위한 연구도 행하여졌다. 어업현장에서의 연구는 수상등 혹은 수중등 아래의 어군의 집합형태(宮崎, 1950; 長谷川等, 1991), 백열등, 형광수은등의 집어 효과

와 수중조도와의 관계(草下, 1959), 집어등 광력과 어획량과의 관계(崔, 2002) 등이 있으며, 집어등의 발달 과정에 대응하여 대상생물의 행동특성을 파악하는 연구도 행하여 왔다(佐々木, 1953; 井上, 1985).

한편, 집어 또는 유도를 목적으로 하는 유인광에 대한 연구는 많지만, 광에 대한 회피반응을 이용해서 차단 혹은 구집을 목적으로 하는 위협광에 관한 연구는 비교적 적은 편이다. 위협광은 휘두르는 光束(黒木·小馬三, 1953), 이동광(高橋, 1978), 간헐광(Muzinic, 1967), 단속광(小池, 1989), 이동광막(安·有元, 1993) 등의 대부분 짧은 주기로 점멸하는 비연속적인 광으로, 최근에 스트로보광(Patrick *et al.*, 1985

<sup>†</sup> Corresponding author : yian@gangwon.ac.kr

Sager *et al.*, 1987)과 레이저광(川村 等, 1991)이 위협광으로서 어류에 대한 차단효과나 구집효과에 관한 연구에 이용되었다.

따라서 본 연구에서는 스트로보광자극의 강도에 대한 어류의 반응을 前報(安·有元, 1997)와 같이 심박수 변화를 지표로 하여 검토하였다.

### 재료 및 방법

실험어는 정치망에서 어획하여 축양한 체중 100~150 g의 전갱이 *Trachurus Japonicus* 이었으며, 실험은 수온  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 조건에서 실험어 20마리 이상을 사육수조에 2주 이상 적응시킨 다음 행하였다. 실험장치의 개략도는 Fig.1에 나타난 것과 같이 광자극 장치는 스트로보광, 심전도 도출장치에는 고감도 증폭기, 오실로스코프, 컴퓨터로 구성되어 있다. 실험수조와 심전도 도출장치에 관한 자세한 내용은 前報(安·有元, 1997)와 같지만 스트로보광 장치(Sugaware, PS-240A)의 발광부에 減光用 필터를 붙여서 광의 세기를 조절하였다.

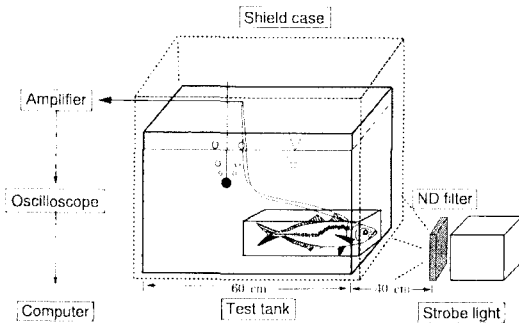


Fig. 1. Arrangement of experimental apparatus for the ECG observation. The strobe light intensity of 10 Hz, 75 lx-s was decreased to 1/2, 1/5 and 1/15 by N.D. filters.

스트로보광의 섬광빈도는 주로 5 Hz, 10 Hz가 위협광의 조건으로 사용하는 경우가 많고(Patrick *et al.*, 1985; Sager *et al.*, 1987; Grober, 1990; Nemeth and Anderson, 1992), 섬광빈도에 의한 전갱이의 심박수 변화를 조사한 前報(安·有元, 1997)의 실험에서도 5 Hz, 10 Hz 조건이 가장 강한 자극효과를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 섬광빈도 10 Hz의 조건하에서 자극강도를 변화하여 실험을 행하였다. 즉 75 lx-s의 스트로보광 강도(I)에 대해서 ND filter로 1/2(37.5

lx-s), 1/5(15 lx-s), 1/15(5 lx-s)로 減光하여 합계 4단계의 강도로 실험을 행하였다. 스트로보광 강도는 스트로보광 측정장치(Minolta, 스트로보광량계II형)로 스트로보광의 발광부로부터 40cm 떨어진 공기 중에서 측정하였다. 여기에서 lx-s의 단위는 1m<sup>2</sup>면적에 1초간 1lm(루멘)의 光束을 받을 때의 광량이다.

실험은 먼저 심전도 도출용 전극을 장착한 실험어 1마리를 광자극원에 대하여 일정한 각도를 유지하도록 하기 위하여 수조내의 소형용기(24cm×23.5cm×6.5cm)에 넣어서 약 14시간 이상 암순응시킨 다음 행하였다. 심박수의 연속계수는 스트로보광 자극개시 전 10분간, 자극 중 30분간, 자극종료 후 20분간의 합계 60분간에 걸쳐서 행하는데, 이것을 실험 1회라고 하였다. 그 후 2시간마다 실험 2회, 실험 3회로 반복 실험을 행하였다. 이와 같이 연속 3회 실험을 시리즈 1회로 하여 각 스트로보광 강도별로 실험어를 교체하여 시리즈 5회씩 총 60회 이상 실험을 행하였다. 스트로보광의 자극효과는 실험어의 심박수 변화를 근거로 하는데, 자극 전 20분간의 심박수에 대한 자극 중 30분간 및 자극종료 후 20분간의 심박수 변화를 비교 분석하였다. 통계처리는 t-검정법을 이용하였다.

### 결과 및 고찰

스트로보광 강도 75 lx-s의 조건에 대해서 시리즈 5회의 실험결과를 정리한 것을 Fig. 2에 나타내었다. 즉, 실험어 5마리의 개체별로 자극전의 평균 심박수와 자극중과 자극 후의 평균 심박수와 관계를 실험 1~3회별로 나타내고 있다. 자극 전 심박수는 1분에 40~80회였으며, 자극전의 심박수가 높은 실험어는 자극중의 심박수도 높은 경향이였다. 한편 자극전의 안정된 상태의 심박수는 무지개 송어(86~87g)의 경우 수온 15~16°C에서 40~50회/분(板澤, 1970), 뱀장어(110~220g)의 경우 22~24°C에서 20~40회/분(板澤, 1970), 향어는 16~18°C에서 58~70회/분(金·梁, 2002), 농어 5~50회/분(大澤, 1986), 잉어 72~78회/분(大澤, 1986)으로 어종, 수온, 체중 등에 따라 다양하며 어종간의 상관관계에 대해서는 서식환경에 따른 어종별로 동일한 조건에서의 조사가 필요하다.

자극 후의 심박수는 자극전과 비교해서 현저한 차이를 나타내지 않았지만 자극중의 실험 1회에서는 유의한 증가( $p < 0.05$ )를 하였다. 또한 각 개체별로 심박수는 반복실험에 따라 전반적으로 증가하는 경향이었고, 개체간의 차이는 크지 않았다.

다음은 자극전의 평균 심박수에 대한 상대 심박수로서 자극중의 1분당 심박수의 빈도분포를 4단계의 강도

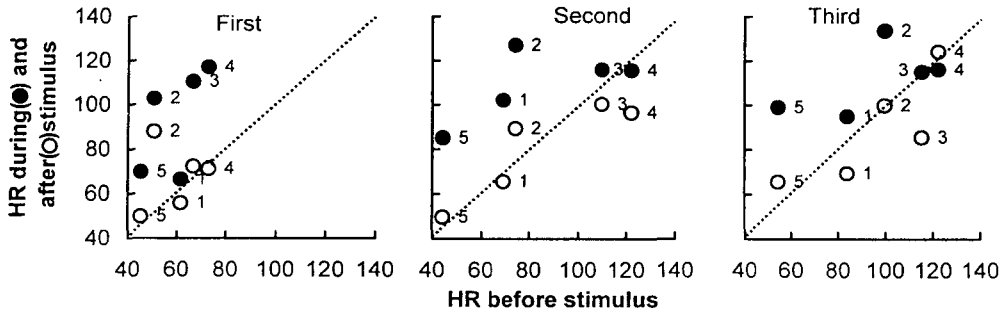


Fig. 2. Comparison of the mean heart rate before stimulus with the mean heart rate during(closed circles) and after(open circles) stimulus, according to the control value before stimulus in each trial order. Figures indicate five different individuals.

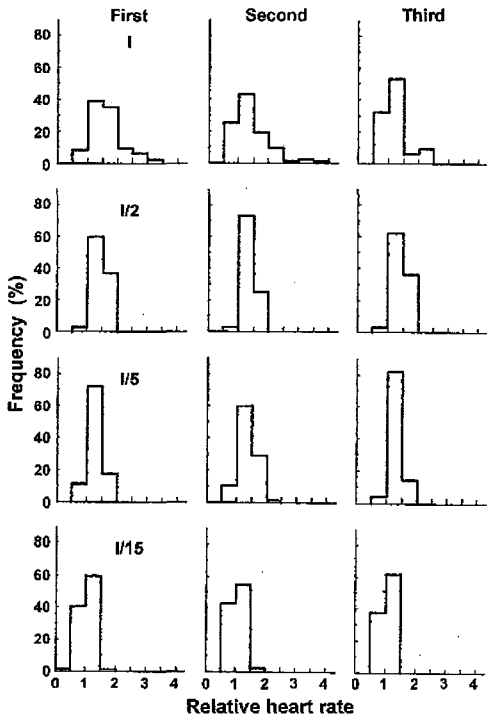


Fig. 3. Frequency distribution of relative heart rate during the stimulus. The relative heart rate value is expressed as the ratio to the mean value before stimulus.

별로 Fig. 3에 나타내었다. 減光前 75 lx-s 의 조건에서는 특히 실험 1회에서 자극중의 심박수가 자극전보다 4배까지 크게 증가하였고, 그 경우의 예로서 심박수는 최대 158회/분으로 높았다. 이와 같이 스트로보광자극이 강한 경우에는 상대 심박수가 자극 전 평균 심박수인 1.0을 초과하는 부분이 많지만 減光한 조건에서는 그 1.0을 초과하는 부분이 적어지고 자극효과가 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 스트로보광의 각 강도에 대해서 반복실험에 의한 빈도분포의 차이는 75 lx-s 조건에서 실험 1, 2회와 실험 3회와의 관계에서 약간의 차이가 있었지만, 減光한 조건에서는 반복 실험에 의한 차이는 거의 보이지 않았다.

스트로보광의 자극 중 심박수 변화는 심광빈도에 따른 심박수 변화를 조사한 前報(安·有元, 1997)에서와 같이 자극직후에 최소가 되고, 그 이후 완만하게 증가하는 경향이였다. 이와 같은 심박수의 변화상태를 스트로보광 강도별로 조사하기 위하여 자극전의 평균 심박수에 대한 자극중의 심박증가율(安·有元, 1997)을 구해서 Fig. 4에 나타내었다. 심박증가율은 실험 1회의 경우, 75 lx-s 에서 131.8%이었던 것이 1/2, 1/5, 1/15로 減光함에 따라서 69.4%, 45.4%, 29.1%로 감소하였다. 제 2회 실험에서는 減光前에 103.5%이었던 것이 54.8%, 58.8%, 36.4%로 되고, 제 3회 실험에서는 減光前에 53.7%이었던 것이 57.4%, 36.8%, 24.4%로 되었다. 이와 같이 심박증가율은 자극강도를 약하게 하면 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다.

반복실험에 의한 심박증가율의 변화는 자극강도 75 lx-s 의 경우, 실험 1회의 131.8%가 제2, 3회 실험에서 각각 103.5%, 53.7%로 유의한 감소( $p < 0.05$ )를

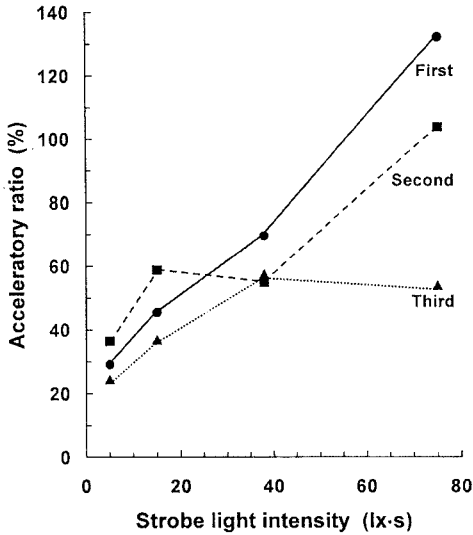


Fig. 4. Acceleratory ratio of heart rate according to the strobe light intensities, in relation to the number of repetitions of the experiment.

하였다. 자극강도를 1/2, 1/5, 1/15로 減光하는 경우에는 반복실험에 의한 심박증가율의 차이가 적어지고, 뚜렷한 차이는 보이지 않았다( $p < 0.05$ ). 따라서 반복 실험에 의한 심박증가율의 변화는 자극강도 75 lx·s 이 외의 減光조건에서는 실험 1회에서 낮은 심박증가율로 현저한 변화를 보이지 않았고, 실험어가 받는 자극강도는 크지 않았다고 판단되었다.

이와 같은 스트로보광照射에 의한 심박증가의 현상은 행동실험(安·有元, 1994)에서도 스트로보광으로의 접근행동의 경우와 유사한 심박수 변화를 보였다.

한편, 스트로보광자극의 종료직후 심박수는 자극시작 직후와 같이 현저하게 감소하였다(Fig. 5). Fig. 5는 자극종료전후 각각 1분간의 심박수 변화로 자극강도별로 평균 심박수의 차이를 나타내고 있다. 자극종료후의 심박수는 자극종료 직후 3분 이내에서 최소가 되었지만, 본 연구에서는 종료직후 1분의 심박수를 이용하였다. 실험 1회에서 심박수 변화는 특히 현저하였고, 자극강도가 강할수록 심박수 변화가 컸다.

減光前 75 lx·s 의 조건에서 평균 59회/분의 심박수 변화는 37.5 lx·s, 15 lx·s, 5 lx·s 로 減光함에 따라서 41회/분, 31회/분, 23회/분으로 변화가 감소하였다. 실험 2회, 3회의 경우도 실험 1회의 경우와 같이 減光함에 따라서 심박수 변화는 감소하는 경향이 있었다. 따라서 자극종료시의 경우는 스트로보광 강도의 감소에 따라서 심박수 변화가 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 그러나 반복실험에 의한 심박수 변화는 15 lx·s 조건

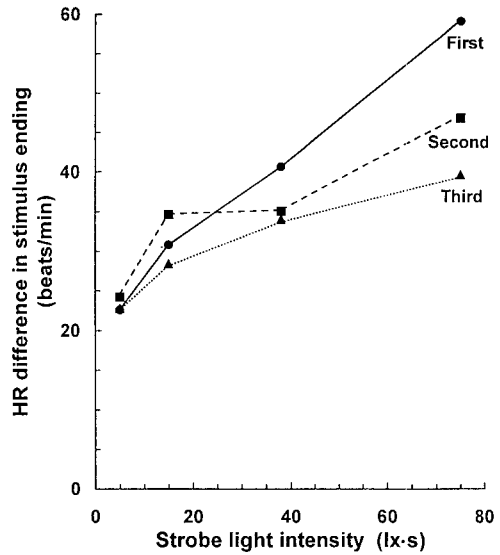


Fig. 5. Heart rate differences in 1 min before and after the strobe light at different lighting intensities.

의 경우, 실험 1회에서 31회/분, 실험 2회에서 35회/분, 실험 3회에서 28회/분과 같이 75 lx·s 보다 낮은 스트로보광 강도조건에서는 그다지 현저한 변화는 보이지 않았다. 이와 같은 현상은 Fig. 4의 심박증가율의 변화와 유사하였다. 75 lx·s의 강한 스트로보광자극의 경우에는 반복실험에 의한 심박수 변화가 현저한 차이가 있었다. 그러나 스트로보광 강도의 減光에 의한 심박수 변화는 적으며, 그 변화 정도는 자극강도와 관계가 있다고 생각된다(大澤, 1986). 이와 같은 광자극에 대한 심박수 변화를 근거로 스트로보광의 자극효과를 판정하는 것이 가능하다고 생각된다(大澤, 1986; Huang, 1987; Grober, 1990; 安·有元, 1997). 한편, 어류는 광자극 중 단속광보다 연속광에 쉽게 적응하는 것으로 알려져 있으며, 본 실험에 이용한 스트로보광은 고기가 싫어하는 단속적인 광에 속하며 위협광으로서 이용하기에 적절한 광이라고 판단된다(小池, 1989; 有元·安, 1998).

이상의 결과를 현장에 응용하는 것을 생각해 볼 수 있다. 前報(安·有元, 1994)의 75 lx·s의 스트로보광 강도에서는 전갱이가 현저하게 회피행동을 나타내었고, 또한 본 연구의 결과에서도 자극전과 비교하여 심박수가 현저하게 증가하였으며, 減光조건에서는 그 반응이 점차 감소하였다. 따라서 본 연구의 실험조건에서 자극효과가 있다고 판단되는 최소 자극의 세기는 행동실험(安·有元, 1994)에서와 Fig. 3, 4로부터 15

$I \times s$  정도로 판단하고, 스트로보광의 자극효과거리( $r$ )을 광의 수중 감쇠식을 이용하여 산출하였다(Blaxter and Currie, 1977).

$$I r = \frac{I_0 \times e^{-kr}}{r^2}$$

여기에서  $I_0$ 는 스트로보광의 강도( $I \times s$ ),  $I r$ 는 자극 효과가 있는 최소자극의 세기( $I \times s$ ),  $k$ 는 해수의 흡수 계수( $m^{-1}$ )이다. 본 연구에서 이용한 스트로보광원과 동일한 밝기의 장치를 수중에서 이용할 경우에 75  $I \times s$ 의 자극효과거리는 깨끗한 해수중(Oceanic type I) (Jerlov, 1976)에서 약 193cm가 되고, 탁한 해수중(Coastal type 7) (Jerlov, 1976)에서는 약 142cm로 되었다. 이와 같은 스트로보광의 자극효과의 유효범위는 먼 거리까지는 기대할 수 없고, 겨우 수 미터인 것으로 판단된다. 따라서 스트로보광은 대상어군을 광원에 접근하지 못하도록 하는 것을 목적으로서, 예를 들면 건착망의 망입구로부터 어군탈출을 막기 위하여, 또는 정치망의 원통입구로부터 고기가 도망가지 않도록 하는 이용방법을 생각할 수 있을 것이다. 이 경우의 스트로보광원 배치는 Ben-Yami (1976)가 검토한 것과 같이 그물과 같은 면으로 배열하여 照射하면 어군행동을 제어하기가 좋을 것으로 생각된다.

### 요 약

본 연구에서는 스트로보광의 자극효과를 검토할 목적으로 스트로보광 강도에 따른 전갱이의 반응을 심박수의 변화로 조사하였다. 실험은 10Hz의 스트로보광 강도(75  $I \times s$ )를 1/2, 1/5, 1/15로 빛의 세기를 감소시켜, 4단계의 강도별로 심박수를 자극 전 10분간, 자극 중 30분간, 자극 후 20분간 합계 60분간을 2시간마다 3회 연속해서 측정하였다. 그 결과, 스트로보광 자극 중의 심박수 증가와 자극 종료 직후에 일시적으로 현저한 심박수 감소가 있었다. 스트로보광 자극효과는 자극강도의 減光에 따라 감소하였다. 반복실험에 의한 자극효과는 75  $I \times s$ 의 강도보다 약한 스트로보광 강도에서는 현저하게 나타나지 않았다.

### 참고 문헌

Ben-yami, M.(1976) : Fishing with light. Fishing News Books Ltd., 30-49, 92- 100.  
Blaxter, J.H.S. and Currie, R.I.(1977) : The effect of artificial lights on acoustic scattering layers in the ocean, in "Light in the Sea"(ed. by J.E.

Tyler), Vol. 3, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Pennsylvania, 358-368.  
Grober, M.S.(1990) : Luminescent flash avoidance in the nocturnal crab-II. Cardiac and visual responses to variations in simulated luminescent flashes, J. exp. Biol. 148, 6427-448.  
Huang, B.Q.(1987) : Visually evoked startle response in teleosts-1. Electrocardiographic recordings, J. Fish. Soc. Taiwan, 14, 33-45.  
Jerlov, N.G.(1976) : Marine optics. Elsevier, Amsterdam, 127-150.  
Kawamoto, M. and Konish, J.(1952) : The correlation between wave length and radiant energy affecting phototaxis, Rep. Fac.Fish. Pref. Uni. Mie, 1, 197-208.  
Muzinic, R.(1967) : Observation on the reactions of the sardine to intermittent white light, FAO Fisheries Report, 62, 861-872.  
Nemeth, R.S. and Anderson, J.J.(1992) : Response of Juvenile coho and chinook salmon to strobe and mercury vapor lights, N. Am. J. Fish. Manage, 12, 684-692.  
Patrick, P.H., Christie, A.E., Sager, D.R., Hocutt, C.H. and Stauffer, J., Jr.(1985) : Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. Fish. Res., 3, 157-172.  
Sager, D.R., Hocutt, C.H. and Stauffer, J.R.(1987) : Estuarine fish responses to strobe light. Bubble curtains and strobe light/bubble-curtain combinations as fluenced by water flow rate and flash frequencies. Fish. Res., 5, 383-399.  
金榮起·梁龍林(2002) : 光刺戟에 대한 역돔의 心電圖, 한국어업기술학회지, 38, 217-225.  
川村軍藏·法花正志·荒牧孝行·新村 巖(1991) : マダイによるHeNeレーザー光線視認, 日水誌, 57, 421-424.  
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.  
小池 隆(1989) : 斷續光に對するマアジの行動反応に關する研究, 三重人生物資源學部紀要, 2, 23-53.  
草下孝一(1959) : 白熱灯および螢光水銀の集魚効果と水中照度, 日水誌, 25, 17-21.  
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.  
宮崎千博(1950) : 燈火に集まる魚群に就いて, 日水誌, 16, 235-238.

- 佐々木忠義(1953) : 集魚燈, イデア書院, 154.
- 板澤靖男(1970) : 血液, 「魚類生理」(川本信之編), 恒星社厚生閣, 3-44.
- 有元貴文・柴宏 有・有元貴文(1979) : 魚の視覚運動反應と漁法-IV, 点滅光に對するニジマスの行動, 東京水産大學研究報告, 66, 23-35.
- 有元貴文・安永一(1998) : 光による行動制御の技術, 「沿岸の環境圏」(平野敏行監修), フジ・テクノシステム, 東京, 443-447.
- 安永 一・梁龍林(1992) : 誘導燈에 대한 불락과 감성돔의 反應, 한국어업기술학회지, 28, 1-9.
- 安永一・有元貴文(1993) : 移動光幕 に對するウグイの反應, 日仏海洋學會誌, 31, 31-36.
- 安永一・有元貴文(1994) : ストロボ光の威嚇効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, 日本誌, 60, 713-718.
- 安永 一・有元貴文(1997) : ストロボ光の威嚇効果に關する行動生理學的研究-II. ストロボ光の閃光頻度によるマアジの心拍數變化, 日本誌, 63, 3-9.
- 岡正 雄(1972) : 魚群の光に對する行動に就いて, 日本誌, 6, 223-238.
- 大澤 一爽(1986) : 小動物心臟の實驗-33章, 共立出版, 東京, 72-80, 115-120.
- 井上 實(1985) : 集魚燈, 漁具と魚の行動, 恒星社厚生閣, 174-186.
- 今村 農(1968) : 漁業における火光の集魚効果とその操法の研究 (1), 日仏海洋學會誌, 6, 17-43.
- 長谷川英 一・小林 裕・石倉勇・内田誠・前川陽一(1991) : 水中燈での魚類の集合, 離散散過, 日本誌, 57, 1307-1311.
- 崔漸珍(2002) : 일본 소형 오징어 채낚기 어선의 톤수 및 집어등 광원 출력과 어획량과의 관계, 한수지, 35, 644-653.

---

2003년 4월 4일 접수

2003년 5월 9일 수리