

어류의 視力에 관한 연구

I. 쥐치의 視認限界에서의 線의 굵기와 거리와의 관계

安 永 一 · 梁 龍 林

釜慶大學校

(1996년 6월 19일 접수)

Visual acuity of fish

I. Relationship between line width and distance at visual limit of filefish *Stephanolepis cirrhifer*

Young - Il AN and Yong - Rhim YANG

Pukyong National University

(Received June 19, 1996)

Abstract

The relationship between width of line target and distance at the limit of discrimination was examined by means of the behavioural method, for filefish *Stephanolepis cirrhifer* from 11 to 15cm body length. Target distance was distance from beginning of partition board to target plate, and was varied from 50cm to 200cm. The target plate was made of white acrylic resin with a vertical black line in the center. The width of line target was varied from 0.2mm to 8.0mm. Fish were trained to respond to a line target and the width of line target reduced until the minimum width required to elicit a response was established. Rate of success was expressed as the percentage of target choices in 90 trials.

The line acuity of filefish was found to be 0.58 at a target distance of 50cm. The rate of success decreased slowly as line target width decreased from 8.0mm to 1.5mm, and decreased suddenly for target widths less than about 1.5mm. The width of the line target $D(mm)$ at the limit of discrimination was shown to be an exponential function of the target distance $L(cm)$ as follows :

$$D = \exp(9.947 \times 10^{-3} \cdot L + 0.146)$$

緒 論

낚시어업에서 고기가 낚시줄을 잘 보지 못하게 하기 위하여, 가늘고 투명한 줄을 사용하여 왔다. 이것은 고기가 외부 물체에 대해서 예리한 시력을 갖고 있다는 것을 의미하고 있다.

시력은 물체의 존재나 형상을 인식하는 눈의 능력을 말한다. 시력(Visual acuity)에는 最小視認閾値와 最小分離閾値로 구별되는데, 最小視認閾値는 하나의 點 또는 線을 인식하는 閾値를 말하며, 最小分離閾値는 두개의 點 또는 線을 다른 것으로 식별하는 閾値를 말한다¹⁾.

어류의 시력에 관한 연구를 보면, 網膜上의 視細胞로부터 組織學的으로 視力을 구하는 연구¹¹⁻¹⁴⁾에서는 最小分離閾值의 입장이고, 학습법으로 혹은 먹이에 대한 반응행동으로 구하는 행동학적 수법에서는 그 연구 목적에 따라서 最小視認閾值와 最小分離閾值의 두가지 개념을 동시에 사용하고 있다⁵⁻¹²⁾. 그러나, Breck and Gitter¹²⁾는 먹이에 대한 반응거리로부터 시력을 검토하였고, 宮崎¹⁰⁾는 망지에 대한 어류의 시정을 最小視認閾值의 관점에서 논하고 있다. 이와같이 어류의 採餌活動이나 漁具에 대한 연구에서는 最小分離閾值가 아니고 最小視認閾值로 하는 경우가 많다. 張¹³⁾은 最小分離閾值로부터 생리적 최대 水中視程을 구하였는데, 체장에 따라 水中視程이 변화하며, 소형개체는 대형개체보다 網漁具에 대한 반응거리가 짧다는 것을 검토하였으며, 또한 트롤그물에 대한 대상어의 行動에 있어서, 視覺機能의 역할에 관해서도 고찰하였다.

수중에서의 물체에 대한 어류의 반응행동은 가까운 거리에서는 주로 視覺刺戟에 의한 것으로 판단되고 있으며²⁾, 물체의 형태가 주낙어구의 아릿줄과 같은 경우나 網地의 발의 경우는 보통의 시력 대신에 線視力이 적용된다. Blaxter *et al.*²⁾는 어류의 반응행동에 있어서 유자망과 트롤망에 대한 시각의 중요성을 논하고 있는데, 어구에 대한 어류의 행동을 해석하는 경우, 線視力을 고려할 필요가 있으며, Wardle⁴⁾는 어류가 트롤어구에 대해서 어떻게 행동할 것인가를 모델로써 예측하고 있는데, 반응거리는 어류의 視程에 의해 정해질 것이라고 하였다.

한편, 어류의 시각은 생태학상으로도 대단히 밀접한 관계가 있다. 동물이 자기에게 알맞은 종류의 먹이를 찾아서, 최종적으로 그것을 먹기까지의 일련의 행동을 採餌行動이라 하는데, 어류의 採餌行動은 모든 감각이 사용되어지지만, 視覺을 잃어버리면 採餌行動을 전혀 못하는 어종도 있다. 이러한 점에도 불구하고 어류의 반응행동에 관한 많은 연구는 행동해석에 역점을 두고 있고, 물체의 視認여부에 대해서는 고려하지 않은 경향이 많다.

따라서, 본 연구에서는 어류의 비교적 정확한 시각능력을 반영하는 행동학적 수법¹⁵⁾을 이용해서,

취치가 視認할 수 있는 표적물공기와 거리와의 관계를 조사하고, 線視力을 구하였다.

材料 및 方法

1. 實驗魚

실험은 1995년 7월~11월에 부경대학교의 어군 행동학 실험실에서 행하였으며, 본 실험에 사용한 어류는 정치망으로 어획된 체장 11~15cm인 취치, *Stephanolepis cirrhifer*였고, 15마리를 사육 수조에서 10일 이상 적응시킨 다음 학습실험을 실시하였는데, 본실험에는 반응이 좋은 3마리를 사용하였다.

2. 實驗裝置

실험수조(360L×50W×55Hcm)는 광택이 없는 회색 순환여과식 수조이며, 수심은 20cm로 유지하였다(Fig. 1). 실험수조는 대기부와 실험부로 되어 있는데, 대기부에는 실험수조의 한쪽 끝부분에 흰색 아크릴판으로 된 대기구간(50L×17W×55Hcm)을 3개 나란히 설치하였다. 각 대기구간에는 誘導路쪽으로 문이 있어 실험어가 자유로이 실험부로 나올 수 있도록 하였다.

실험부는 誘導路和 2개의 水路로 구성되어 있는데, 誘導路는 흰색 아크릴판을 쌍곡선 모양으로 만들어 실험어가 수조의 중앙으로 오도록 하였으며, 誘導路의 중간지점에서의 폭은 10cm이다. 한편 誘導路의 중간 지점으로부터 30cm 떨어진 곳에 길이 200cm, 높이 30cm로 된 흰색 아크릴판의 간막이를 수조의 길이 방향으로 설치하여 2개의 水路를 만들었다. 한편, 대기부의 반대쪽 수조벽은 이동할 수 있는 흰색 아크릴판으로 되어 있는데, 이 수조벽에는 표적판을 부착하며, 또한 표적판을 지지하기 위하여 수조바닥으로부터 5cm 떨어진 곳에 투명한 아크릴 삼각 막대로 만든 받침대를 부착하였다. 표적판은 흰색 아크릴판으로 된 가로, 세로 10cm의 정사각형으로 되어 있다.

표적물은 인스턴트레터링(AL532~AL534)을 사용하여 만든 길이 5cm의 黑色線인데, 線의 굵기는 0.2, 0.3, 0.6, 1.5, 3.0, 6.0, 8.0mm의 7종이며,

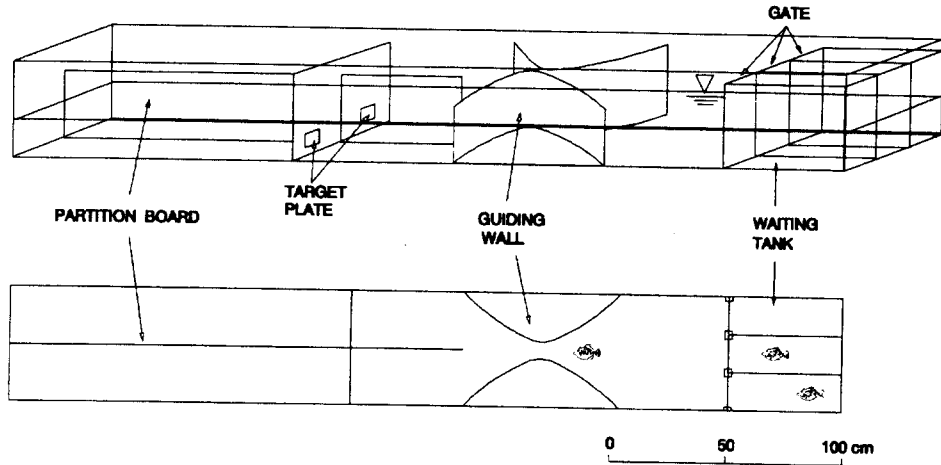


Fig. 1 Experimental tank diagram.

한개씩의 黑色線을 표적판의 중앙에 수직 방향으로 부착하여 사용하였다.

표적물거리는 간막이의 시작 부분에서 표적판까지의 거리로 50, 100, 150, 200cm의 4단계인데, 표적판이 부착된 아크릴 수조벽을 이동하여 거리를 조절하였다.

조명장치는 20W의 백색 형광등 8개와 아크릴판과 비닐로 된 필터로 구성되어 있으며, 조명은 실험수조 위에서 행하였으며, 수면조도는 약 400lx였다.

수질관리로서는 순환식 여과장치를 제작·정비하여, 실험수조의 해수를 여과시켰고, 에어레이션을 행하였다. 탁도는 0.35ATU(HACH, 2100P)였는데, 그 값은 약 $0.1m^{-1}$ 정도에 해당하는 값이다⁹⁾. 수온은 해수 냉각기(신용냉각, SY-200B)를 사용하여, 약 21℃의 전후로 조절하였다.

3. 實驗方法

3-1. 學習實驗

본 실험에 앞서 학습실험을 행하였는데, 학습실험은 먼저 실험어를 3개의 대기구간에 1마리씩 넣고, 다시 1주일 이상 적응시킨 후 실시하였는데, 학습실험의 조건은 수면위 약 400lx의 밝기에서 표적물굵기 8mm, 표적물거리 50cm로 하였다.

학습실험은 다음과 같은 순서로 행하였다.

대기구간의 문을 닫은 상태에서 1시간이상 조명 한 후, 한 구간의 문을 열면, 실험어는 誘導路를 통과하여 2개의 水路중 1개의 水路에 진입하게 된다. 이때, 표적물이 있는 표적판쪽의 水路에 진입하였을 때 먹이를 주지만, 표적물이 기입되지 아니한 水路에 진입했을 경우와 誘導路를 통과하지 않는 경우에는 먹이를 주지 않았다. 위 과정이 끝나면 실험어는 대기부로 되돌아오게 하는데, 학습실험은 위 순서에 따라 반복하는데, 視認率이 80% 이상 된 시점에서 학습이 완료된 것으로 간주하여 본 실험을 행하였다.

여기서 실험어가 표적물이 부착된 표적판에 한번에 도달하였을 때를 視認한 것으로 간주하고, (1)식과 같이 視認率(%)은 시행회수(3마리×30회)에 대한 표적물의 선택회수의 비율로 구하였다.

$$\text{視認率}(\%) = \frac{\text{표적물선택회수}}{\text{시행회수}(90\text{회})} \times 100 \quad (1)$$

3-2. 本實驗

본 실험은 표적물의 굵기 7종에 대해서 표적물 거리를 각각 50, 100, 150, 200cm로 하였을때의 視認率을 조사하는 것으로, 실험방법은 학습실험의 방법과 동일하였다. 이 때, 표적물의 굵기는 큰 것에서 작은 것순으로 사용하였다. 표적물의 위치

는 兩水路에 교대로 바꾸었으며, 실험은 한 마리당 1일에 10회씩 행하였는데, 각 개체에 대해서 30회 이상 실시한 후 視認率을 측정하였다. 단, 視認率(%)이 50% 내외일 경우 실험어가 표적물의 유무를 판단하지 못하는 것으로 간주하였다.

한편 線視力은 다음과 같이 구하였다.

거리 L 로부터 시인할 수 있는 최소의 線의 굵기 D 를 보는 각, 즉 눈의 分解能 Θ (rad)는 대단히 작기때문에 근사적으로 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin \Theta \cong \Theta = \frac{D}{L} \quad (2)$$

線視力 VA 는 눈의 分解能을 分의 단위로 나타낸 것 Θ (min. of arc)의 역수 $1/\Theta$ 로 표현된다^{18,19}.

$$VA = \frac{1}{\Theta} = \frac{\pi \times L}{180 \times 60 \times D} \quad (3)$$

結 果

1. 學習實驗

학습실험 회수에 대한 視認率과 표적물에 도달 시간과의 관계는 Fig. 2와 같다. 視認率은 시행회수가 115회 쯤에서 80%였고, 도달시간은 10초 이상이었다. 그러나 135회 이상의 학습실험에서는 視認率이 90~100%였고, 도달시간은 3~4초로 거의 안정되었다. 이상으로부터 학습은 완전히 완

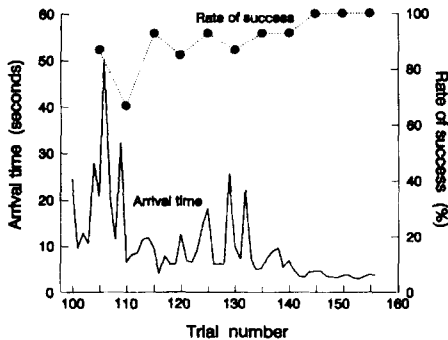


Fig. 2. Relationship between the arrival time and rate of success to the thick line(8.0mm) and trial numbers using the behavioural method. Rate of success was expressed as the percentage of target choices in the 15 trials.

료되었다고 판단되었다. 여기서 도달시간은 대기 구간의 문을 연 직후부터 실험어가 표적물까지 도달하는 시간을 나타낸다.

2. 쥐치의 線視力

표적물거리를 50cm로 일정하게 했을때의 표적물굵기에 대한 視認率은 Fig. 3과 같다. 표적물의 굵기 8.0mm에서 1.5mm까지는 視認率이 약 80% 이상이였지만, 굵기가 0.3mm와 0.2mm 사이에서는 視認率이 50%내외로 급격히 감소하였다. 視認率이 50%인 경우는 실험어가 표적물을 視認할 수 없는 경우로, 視認限界 표적물의 굵기는 0.2mm에서 0.3mm 사이에 존재한다고 판단된다. 따라서 굵기가 0.2mm에서 0.3mm 사이의 데이터로부터 유의수준 5%의 이항분포의 편측검정으로 구한 결과^{16,17}, 視認率은 58.3%였다. 이 視認率 58.3%에 해당하는 표적물굵기, 즉 표적물거리 50cm에서의 視認限界의 굵기는 Fig. 3에서 0.25mm이었다. 따라서 표적물거리 50cm, 視認限界의 굵기 0.25mm를 식 (3)에 대입하여 구한 결과, 쥐치의 線視力

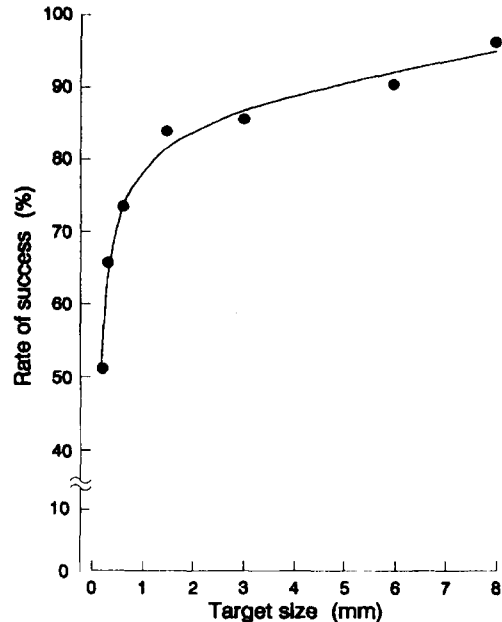


Fig. 3. The rate of success for different target sizes at a distance of 50cm from the target in clear water of 0.35atu. Solid circle indicates the mean value of three fishes for 30 trials.

(VA)은 0.58로 나타났다.

3. 표적물의 굵기와 거리와의 관계

표적물거리에 따른 쥐치의 視認率은 Fig. 4와 같은데, 視認率은 표적물거리가 증가함에 따라 감소하였다. 표적물굵기가 8.0mm일때 표적물거리 4종(50, 100, 150, 200cm)에 대한 視認率은 각각 95.9%, 87.8%, 84.4%, 83.3%였고, 표적물굵기가 1.5mm일 때는 각각 84.4%, 78.9%, 70.0%, 62.2%였으나, 표적물굵기가 1.5mm이하에서는 視認率이 모두 급격하게 감소하였다.

Fig. 5은 통계학적 수법^{16,17)}을 이용해서 표적물거리마다 실험어가 視認할 수 있는 최소한의 굵기를 구하여, 兩者와의 관계를 표시한 것이다. Fig. 5에서 표적물거리가 증가하면 視認 가능한 표적물굵기는 지수함수적으로 증가한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본실험의 결과에서 표적물굵기(D)와 표적물거리(L)와의 관계는 다음식으로 도출된다. (상관 계수 r=0.99)

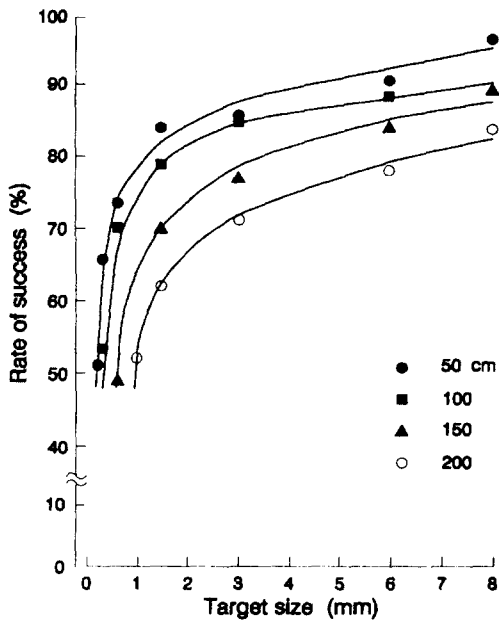


Fig. 4. The rate of success for different target sizes with changing partition length. Symbols ●, ▲ and ○ represent the mean values at distances of 50, 100, 150 and 200cm respectively.

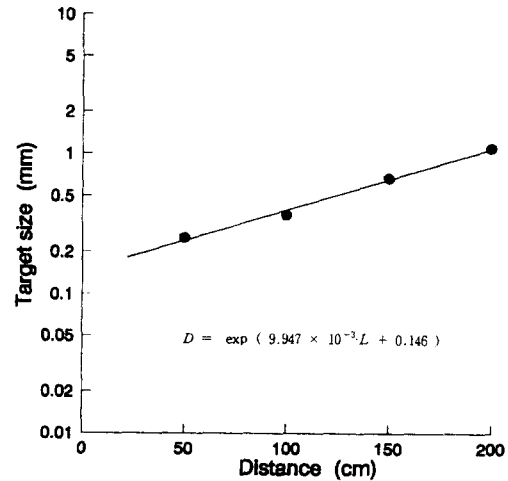


Fig. 5. The target size(D) at the limit of discrimination for different distances(L). Solid circle was calculated on the basis of Fig. 4.

$$D = \exp(9.947 \times 10^{-3} \cdot L + 0.146) \quad (4)$$

이와 같이 표적물의 거리에 따라 視認할 수 있는 표적물굵기가 크게 변화한다는 것은 망막의 분해능이 변화하는 것을 나타내는 것으로 생각된다.

考 察

수중에서 물체의 시인여부는 수중의 밝기, 물체의 콘트라스트 및 크기, 대상어와 물체와의 거리 등으로 결정된다.

수중의 밝기가 170lx이상이면 어류의 시력이나 콘트라스트 역치에 영향을 주지 않는다⁸⁾. 본 실험은 이점을 고려해서 충분히 밝은 조건하(수면조도 400lx)에서 실시하였다.

다음으로 물체를 視認할 수 있는 한계 콘트라스트를 콘트라스트 역치라 하는데, 어류의 경우는 0.05⁹⁾, 0.02²⁰⁾, 0.13²¹⁾라고 보고되어 있으며, 中村⁹⁾, 中村 등²¹⁾의 연구결과에 따르면, 본실험에서의 視認率이 표적물거리에 따라 감소하는 것은 수중조도나 콘트라스트가 직접적으로 영향을 주는 것으로는 생각되지 않았다.

물체의 크기와 거리와의 관계에서는, 中村 등²¹⁾은 실험어로 돌돔, *Oplengnathys fasciatus*을 사

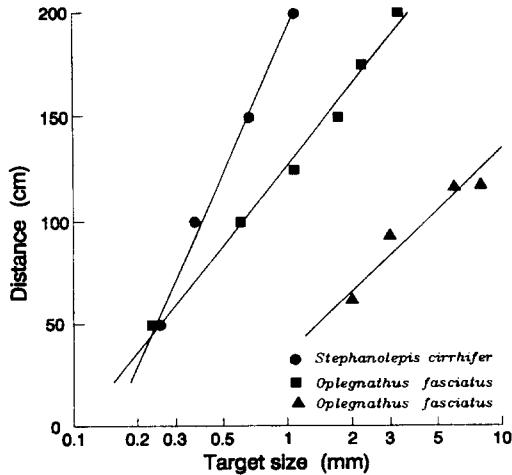


Fig. 6. The distance at the limit of discrimination for different target sizes. Symbols ● represent the experimental value. Symbols ■ and ▲ represent the result of Nakamura et al.²¹⁾ with *Oplegnathus fasciatus*, Nakamura and Matsuike²²⁾ with *Oplegnathus fasciatus*, respectively.

용하여 굵기(φ) 0.2~8.0mm인 線 표적물에 대한 반응거리를 측정하여, 양자사이에 1차 함수의 관계가 있다고 보고하였다(상관 계수 $r=0.99$). 그리고 中村·松生²²⁾은 동일 어종인 돌돔으로, 굵기가 2, 3, 6, 8mm인 표적물(먹이)에 대하여 반응거리를 측정하였는데, 前述과 같은 결과를 얻었다(Fig. 6). Fig. 6은 본실험 결과에 中村 등²¹⁾, 그리고 中村·松生²²⁾의 결과를 편대수 그래프에 표시한 것으로 상관 계수는 각각 0.92 이상을 보이고 있어, 표적물 굵기와 거리는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 돌돔의 작은 표적물(먹이)에 대한 視認限界距離는 표적물의 굵기가 2mm에서는 55cm, 3mm 일 때는 93cm가 얻어진다.²²⁾ 한편 線 표적물에서²¹⁾의 視認限界距離는 표적물의 굵기 2mm, 3mm에서 각각 169, 192cm로 작은 먹이 표적물의 경우보다 2배 이상 멀어졌다. 본 실험에서는 표적물의 굵기 2mm, 3mm인 경우, 視認限界距離가 각각 244, 305cm였다. 따라서 표적물이 線인 경우, 視認限界距離는 점보다 멀어짐을 알 수 있다.

어류의 視力은 어류의 성장단계에 따라 변화하며, 成魚는 稚魚보다 視力이 좋고, 稚魚보다 작은

먹이를 더 잘 볼 수 있으며, 먼 거리에서도 먹이를 찾아낼 수 있다¹⁵⁾. 이와같이 성장에 따라 視力이 향상된다는 것은 성장과 함께 망막이 늘어나서 원추체의 밀도는 감소하지만 새로운 원추체가 보충하게 된다는 것¹⁵⁾과, 원추체 밀도의 변화보다 렌즈의 초점거리가 증가하기 때문이라고²³⁾ 하는 두가지 설이 있다.

한편, Table 1에는 행동학적 수법으로 구한 쥐치의 시력 이외에, 여러 연구자들의 생리학적 수법과 행동학적 수법으로 구한 어류의 시력을 나타내고 있다. 회유성이 강한 다랑어류는 담수어인 파랑볼우럭 *Lepomis macrochirus*, 금붕어 *Carassius auratus*, 잉어 *Cyprinus carpio*보다 시력이 좋다는 것을 알 수 있다. 이것은 탁도가 낮은 외양과 탁도가 높기 쉬운 陸水에서, 각각의 서식수역에 적응한 결과로 생각할 수 있다. Nakamura^{6,7)}는 세로 흑백줄무늬 모양을 이용해서, 가다랭이 *Katsuwonus pelamis*⁶⁾, 점다랭이 *Euthynnus affinis*⁶⁾, 황다랭이 *Thunnus albacares*⁷⁾의 시력을 구하였는데, 각각 0.18, 0.14, 0.27이었다. 똑같은 행동학적 수법으로 하였지만, 시력은 어종에 따라서 달라짐을 알 수 있다. 中村⁹⁾는 작은 흑색 사각형을 이용해서 잉어의 最小視認閾值를 구하였는데, 시력이 0.11이라는 결과를 얻었다. 鹽原¹⁾는 파랑볼우럭의 시력을 행동학적 수법(最小視認閾值)과 생리학적 수법(最小分離閾值)으로 구하였는데, 시력이 각각 0.08, 0.09로 거의 일치하였다. 한편 宮崎·中村¹⁹⁾는 흑색선을 이용해서 돌돔에 대한 最小視認閾值를 구하였는데, 線 視力은 0.63이었다. 그러나 작은 표적물(먹이)을 이용하여 구한 돌돔의 시력은 0.09였다²²⁾. 따라서 쥐치의 시력이 0.58인 본실험의 경우와 같이 표적물이 線인 경우는 다른 경우보다 시력이 좋아진다는 것을 알 수 있다²⁶⁾. 그러나, Table 1에서와 같이 어류의 시력 측정 수법이 통일되지 않기 때문에, 어종간의 시력 비교가 곤란하다는 것도 알 수 있다. 생리학적 수법에서도 圓錐體密度에 의한 방식과는 별도로 網膜의 神經節細胞의 분포상태를 조사하여, 그 분포밀도로부터 시력을 산출한 연구결과도 보고되고 있어^{27,28)}, 시력의 실험 수법이 어느정도 통일화가 앞으로의 과제라고 생각된다.

Table 1. Visual acuities determined by behavioural and physiological methods for a variety of teleosts

Species	Name	Visual acuity	Body length(cm)	Reference	Method
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Skipjack	0.18	47.3FL	Nakamura(1968a) ⁶⁾	B
<i>Euthynnus affinis</i>	Kawakawa	0.14	36.4FL	Nakamura(1968a) ⁶⁾	B
<i>Thunnus albacares</i>	Yellowfin tunna	0.27	59FL	Nakamura(1968b) ⁷⁾	B
<i>Neothunnus albacora</i>	Yellowfin tunna	0.49	105FL	Kawamura <i>et al.</i> (1981) ²⁴⁾	C
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacore	0.48	97FL	Kawamura <i>et al.</i> (1981) ²⁴⁾	C
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	0.07	5.8BL	Hairston <i>et al.</i> (1982) ²⁵⁾	B
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	0.06	16.2BL	Breck and Gitter(1983) ¹²⁾	B
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	0.08	16TL	Siobara(1993) ¹¹⁾	A
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	0.03	9.1TL	Siobara(1993) ¹¹⁾	B
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	0.09	15.6TL	Siobara(1993) ¹¹⁾	C
<i>Carassius auratus</i>	Goldfish	0.05	7.2BL	Hester(1968) ⁸⁾	C
<i>Cyprinus carpio</i>	Carp	0.11	7~12FL	Nakamura(1989) ⁹⁾	A
<i>Microcanthus strigatus</i>	-	0.2	9~11BL	Yamanouchi(1956) ⁵⁾	B
<i>Trachurus japonicus</i>	Jack mackerel	0.12	18.9FL	Xhang(1992) ¹³⁾	C
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Parrotfish	0.14	14~19FL	Kawamura and Shimowada(1983) ⁴⁾	C
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Parrotfish	0.09	14~20FL	Nakamura and Matsuike(1989) ²²⁾	A
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	Parrotfish	0.63	15~20BL	Miyazaki and Nakamura(1990) ¹⁹⁾	A
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	Filefish	0.58	11~15BL	Authors	A

A : Behavioural method(Minimum visible acuity)

B : Behavioural method(Minimum separable acuity)

C : Physiological method(Minimum separable acuity)

TL : Total length

FL : Fork length

BL : Body length.

The values represent the highest acuities recorded for a given group of animals.

要 約

쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*(체장 11~15cm)에 대해서 표적물의 굵기와 거리와의 관계 및 線視力을 행동학적수법으로 구하였다. 표적물의 거리는 50, 100, 150 및 200cm로 바꾸어서 실험을 행하였다. 표적물은 백색아크릴판의 중앙에 길이 5cm, 굵기 0.2~8.0mm의 흑색線 하나를 수직으로 붙였다. 視認率(%)은 시행회수에 대한 표적물의 선택회수의 비율로 나타내었다.

1. 쥐치의 線視力은 표적물거리 50cm에서 0.58이었다.

2. 표적물굵기에 대한 視認率의 변화는 표적물의 굵기가 약 1.5mm 이상에서는 완만히 감소하였으나, 그 이하에서는 급격히 감소하였다.

3. 視認距離가 증가하면 視認가능한 표적물의 굵기는 지수함수적으로 증가하였으며, 표적물굵기 $D(mm)$ 와 視認限界距離(L)와의 관계를 나타내

는 식은 다음과 같다.

$$D = \exp(9.947 \times 10^{-3} \cdot L + 0.146)$$

(상관계수 $r=0.99$)

謝 辭

이 연구는 한국과학재단의 1995년 후반기 국내 Post - Doc. 연수지원비에 의하여 수행되었다. 이에 한국과학재단에 깊은 감사의 뜻을 표한다.

또한 실험을 도와준 許成光, 金成吉 군에게 감사드린다.

參考文獻

- 1) 鹽原 泰(1993) : 블루-길의 視精度と採餌機能に關する研究. 東京水産大學, 修士學位論文, pp. 2.
- 2) J. H. S. Blaxter, B. B. Parrish and W. Dickson : The importance of vision in the reaction of fish

- to driftnets and trawls. *Morden Fishing Gear World II*, 1964, 529~536.
- 3) T. Tamura(1957) : A studies of visual perception in fish, especially on resolving power and accommodation. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22, 536~557.
 - 4) 川村軍蔵, 下和田隆(1983) : インダイの帯模様弁別能. *日水誌*, 49, 55~60.
 - 5) T. Yamanouchi(1956) : The visual acuity of the coral fish *Microcanthus strigatus*. *Publ. Seto. Mar. Biol. Lab.*, 5, 133~156.
 - 6) E. L. Nakamura(1968a) : Visual acuity of two tunas, *Katsuwonus pelamis* and *Euthynus affinis*. *Copeia*, 41~49.
 - 7) E. L. Nakamura(1968b) : Visual acuity of yellowfin tuna. *Thunnus albacares*. *FAO Fish Res.*, 62, 463~468.
 - 8) F. J. Hester(1968) : Visual contrast thresholds of the goldfish *Carassius auratus*. *Vision Res.*, 8, 1315~1335.
 - 9) 中村善彦 (1989) : 水中濁りが魚の視力に與える影響に関する基礎的研究. *東京水産大學研究報告*, 76, 83~122.
 - 10) 宮崎多恵子 (1992) : インダイの視力および物體視認距離とこれらへの海中の明るさ・濁りの影響に関する研究, *東京水産大學, 博士學位論文*, pp. 48~54.
 - 11) T. Bando(1993) : Discrimination of random dot texture patterns in bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. *J. Comp. Physiol. A*, 172, 663~669.
 - 12) J. E. Breck and M. J. Gitter(1983) : Effect of fish size on the reactive distance of Bluegill(*Lepomis macrochirus*) sunfish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 162~167.
 - 13) 張秀梅(1992) : 魚類の視覚生理とトロール漁法への應用に関する研究. *博士學位論文, 東京水産大學, 東京*, pp. 56~240.
 - 14) C. S. Wardle : Fish behaviour and fishing gear. in "The behaviour of teleost fishes"(ed. by T.J. Pitcher), Croom - Helm London, 1985, pp. 463~495.
 - 15) R. H. Douglas and C.W. Hawryshyn : Behavioural studies of fish vision : an analysis of visual capabilities, in "The visual system of fish"(ed. by R. Douglas and M. Djamgoz), Chapman and Hall, 1990, pp.373~407.
 - 16) 柳志星 : 統計學, 喜重堂, 서울, 1985, pp. 245~261.
 - 17) 김연형 : 통계학계론, 형설출판사, 1992, pp. 350~353.
 - 18) 田村保 : 魚類生理學 20, 視覚 (川本信之, 編), 恒星社厚生閣, 東京, 1970, pp. 451~479.
 - 19) 宮崎多恵子, 中村善彦(1990) : 條件反射手法を用いて求めたインダイ0年魚の單線視力. *日本誌*, 56, 887~892.
 - 20) P. D. Anthony(1981) : Visual contrast thresholds in the cod *Gadus morhua* L. *J. Fish. Biol.*, 19, 87~103.
 - 21) 中村善彦, 宮崎多恵子, 宮崎唯史(1991) : インダイの視認限界における線の太さと距離の関係. *日本誌*, 57, 243~247.
 - 22) 中村善彦, 松生合(1989) : 水中の濁りと魚の視力との關係(3). *La mer*, 27, 19~24.
 - 23) H. Hahmann, G. Jeserich and I. Zeutzius (1979) : Ontogeny of visual acuity of rainbow trout under normal conditions and light deprivation. *Behaviour*, 68, 3~4.
 - 24) G. Kawamura, W. Nishimura, S. Ueda and T. Nisi (1981) : Vision in tunas and marlins. *Mem. Kagoshima Univ. Res. Center S Pac.*, 1, 3~47.
 - 25) N. G. Hairston, T. L. Kao, and S. S. Easter (1982) : Fish vision and the detection of planktonic prey. *Science*, 218, 1240~1242.
 - 26) H. O. Schwassmann : Refractive state, accommodation, and resolving power of the fish eye. In *Vision in fishes*(ed. by M.A. Ali), Plenum press, New York, 1974, pp. 279~288.
 - 27) S. P. Collin and J. D. Pettigrew(1989) : Quantitative comparison of the limits on visual spatial resolution set by the ganglion cell layer in twelve species of reef teleosts. *Brain Behav. Evol.*, 34, 184~192.
 - 28) T. Murayama, H. Somiya, I. Aoki and T. Ishii(1992) : The distribution of ganglion cells in the retina and visual acuity of minke whale. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1057~1061.