

＝ 번 역 ＝

魚類의 視覺에 對한 기초적 研究

譯者 尹 振 坪*

FUNDAMENTAL STUDIES ON THE VISUAL SENSE IN FISH

TAMOTSU TAMURA**

要 約

이 論文은 魚類의 視覺능력을 研究한 것이며, 視力軸의 方向과 視角과 이 問題에 關係된 몇가지 事實들을 관찰하고 있다. 필자는 어류의 시력조직에 대한 해부학상의 구조를 설명하고 여러 시력軸들이 생활양식과 어떻게 연관지어져 있는가를 연구했다.

면사와 nylon糸를 볼수있는 능력에 대한 재미 있는 실험을 했으며, 미끼(먹이)에 대한 어류의 반응에 대하여도 연구하였다.

예를들면, 어류가 미끼에 대한 흥미를 느끼게 되려면 미끼의 움직임이 있어야 하며, 어류는 자기의 먹이를 일정한 거리에서 볼 수는 있으나, 미끼를 꼭 물어뜯게 만드는 원인은 미끼의 요동에 의해 생기는 물의 움직임이라고는 것이다.

形態의 感知

형태를 감지하는 능력은 두가지 요소에 의해 정해진다. 첫째, 굴절광선계의 분해력과 둘째, 망막의 분해력이다. 굴절광선계의 분해력은 수정체(水晶體)의 분해력과 눈의 조절에 대한 기능이며, 망막의 분해력은 추측컨대 망막속에 있는 원추체들의 간격에 의해 정해지는 것으로 생각된다. 또 시력의 민감성이 가장 높은 방향이 그 어류의 시력軸의 방향이 된다고 생각된다.

④ 水晶體와 網膜의 分解力

어류에서는 유리체와 角膜이 影像(image)을 形成하는 일을 맡고 있는 것이 아니며, 수정체도 影像을 形成하는 단지 굴절광선에 關係하는 원소일 뿐이다. 직경 5mm 이상되는 수정체의 분해력은 54' (sec. of arc.)에서 90' 범위까지 영향을 미쳤다. 원추체 밀도는 魚種에 따라서 변하며 망자의 부분에 따라서도 변한다. 그래서 시험에 사용된 고기의 망막들은 모두 극부해부를 하여서 연구했다. 망막들을 다음과 같이 7개 各 부분으로 나누었다.

- 즉, ① 관자놀이(측두골)에 해당하는 부분
- ② 등과 관자놀이에 해당하는 부분
- ③ 배와 관자놀이에 해당하는 부분
- ④ 코에 해당하는 부분
- ⑤ 배에 해당하는 부분
- ⑥ 등에 해당하는 부분
- ⑦ 엉덩이에 해당하는 부분

* 釜山 水産大學

** Fisheries Institute, Faculty of Agriculture, Nagoya University, Anzjo, Ainti-prefecture, Japan.

魚類의 視覺에 對한 기초적 研究

각 부분의 원추체 밀도는 현미경 촬영으로 측정했으며, 원추체 밀도가 가장 높은 부분에 따라 어류를 세 그룹으로 나누었다. 즉, 등과 관자놀이에 해당하는 부분(*Sparns hasta etc.*), 관자놀이에 해당하는 부분(*Epinenphelus Septemfaciatus etc.*), 배와 관자놀이에 해당하는 부분(*Trachurus japonicus etc.*)이 그것이다. 影像線(image line)에 의해 자극된 원추체와 자극되지 않은 원추체가 구분될 때만 영상선은 분해할 수 있다고 가정하고 최소로 나누어질 수 있는 각을 계산했다. 4.2'에서 (min. of arc.; *Epinenphelus Septemfaciatus*의 경우) 15.4'(min. of arc.; *chlorophthalmus albatrossis*의 경우)까지 계산된 작은 수정체의 분해력 보다 더 일목요연한 것이다. 따라서 분해력은 수정체의 기능이라기 보다 망막의 기능이라고 결론지을 수 있다.

⑥ 눈의 조절과 視力軸

Beer (1894)는 고기의 눈에 대한 연구논문 속에서 다음 사실을 말하고 있다. 즉, 휴식상태에서 고기의 눈은 근시이며, 목표물과의 거리를 알기 위해서는 수정체가 망막이 있는 쪽으로 쭉 들어가게 함으로서 눈을 조절한다는 것이다. 눈을 쭉 들어가게 하는 것은 렌즈모양의 불룩한 수축근육에 의해 이루어 진다.

Tamura(1957a)에 의해 사용된 눈조절의 측정법은 Beer의 측정법과 다르며 그보다 많은 자료를 제공해 주었다. 해수속에서 두조각의 고무 Sponge로 꼭 고정시켜 놓고(1차처리) 시험한 고기의 모든 눈은 각각 正視 또는 遠視였으나 Atropine이나 Curare가 注入되었을때나 시신경을 열게 쪼개었을 때는(2차처리) 일정한 방향에서 近視가 되었다. 이러한 반사운동의 측정결과는 Beer의 측정과 직접적으로 비교되지는 않았으나, Tamura의 보고서에서는 1차처리에서 눈이 휴식상태가 된다고 가정하였으며 이에 反하여 Beer는 Curare나 Atropine이 注入되었을때(2차처리) 휴식상태가 된다고 가정하였던 것이다. 고기의 눈이 자연 휴식상태에서 사실상, 근시인지 정시인지 원시인지의 여부는 앞으로의 연구를 위해 중대한 문제다. 더우기 Beer에 의해 얻어진 近視程度가 반드시 어류의 최대근시라고 생각되지는 않는다. 왜냐하면, Beer는 단지 한 線만을 따라서 즉, Scotema 가까운 점까지 수정체의 中心을 通過하는 線만을 따라서 측정했기 때문이다. Tamura의 실험에서는 반송이 시력계의 6개 짐에서부터 측정되었는데 前部 上前部 下前部 上部 下部 側部가 그것이다. 前部 上前部 下前部는 대부분 兩眼共同視野에 포함되었다. Beer의 근시 측정치는 -3에서 -10, 특별한 경우 -12(평균-6.1) diopers이고, 반면에 Tamura의 측정치는 -10에서 -25(평균-14) diopeters 범위였다. 눈의 조절방향에 대한 실험을 하기 위해서 Tamura는 下前部の 方向, 上前部の 方向, 前部の 方向에 의하여 어류를 세 그룹으로 나누었다. 이들 방향은 최상의 원추체 밀도를 가진 망막 부분과 시력축과의 일치에 의해 정해진 것이었다. 수정체에 대한 관계에서, 눈에 매달린 근육과 수정체 수축과의 관련위치는 눈의 조절방향(시력축)에 대한 판단에 새로운 방법이 된다. 下前部の 시력축을 가진 고기는 코와 등에 해당하는 부분의 수정체 표면에 끈이 부착되어 있으며, 배와 관자놀이에 해당하는 부분의 수정체 표면에 근육이 부착되어 있다. 근육의 수축작용은 배와 관자놀이에 해당하는 부분쪽으로 위와 뒤로 움직인다. 비슷하게도 前部 시력축을 가진 고기는 上前部 시력축에 따른 요동이 거의 없도록 등과 관자놀이에 해당하는 부분에 부착된 끈과 배와 코에 해당하는 부분에 부착된 근육을 가지고 있다. 시험에 사용된 여러 고기들의 먹이 섭취행위를 고리해 보면 시력축의 차이로 생기는 생태학적 의미는 명백해 진다. 下前部の 시력축을 가진 *Pagrosomus*, *Sparus*, *Evynis*, *Leognathus*, *Xerusus* 등은 밑바닥(저층)에서 먹이를 섭취하는 고기들이다. 側部나 前部の 시력축을 가진 것이 분명한 *Epinenphelus*, *Sebastiscus*, *Helicolenus Pseudoblennius* 등은 자기들 바로 앞에서 먹이를 섭취하는 경향이 있다. 미끼(먹이)들이 자기들 옆으로 헤엄쳐 다닐때, 이들을 공격하기 좋은 장소인 바위나 해초들 사이에서 서식하는 고기들이 바로 이런 종류이다.

눈은 운동의 범위를 고려할 수 있으며 兩眼共同視野에 대한 중요성의 표시로, 가끔 목표물에 직접 전진하면서 초점을 맞추기도 한다. 上前部の 시력축을 가진 것으로 판명된 *Lateolabrax*, *Trachurus*, *Priacanthus* 등은 자기들 앞과 위에서 먹이를 섭취하곤 한다. 특히, *Priacanthus*는 정지된 미끼가 視野의 윗 부분이나 上前部に 있지 않으면 보통으로 무시해 버린다. 그러나 약 180도 정도인 한쪽 視野는 모든 고기에서 꽤 중요하다. 고도의 예민한 운동을 할 때, 주변 感知力(운동감각)은 자기들의 視野를 넘어선 다른 고기의 捕食行動을 쉽게 感知해 낸다. *Lateolabrax japonicus*에 있어서 이런 운동 감각의 실례가 다음에 있다. 즉, 자기의 그런 운동감각에 맨 처음 감지된 관심 있는 물체를 자기의 視野 正面에 오도록 하기 위해서 고기는 자기의 머리카나 몸을 굽히기도 하고 돌기도 한다. 그리고는 두 視野에 들어온 물체에 자기의 시력축을 빼지 않는다. 선명한 형태를 감지하는데 필수적인 눈의 조절과 날카로운 image가 물체를 분간하는데에 중요한 역할을 한다. 시력축의 방향內에서는 兩眼共同視野

가 가장 넓어지도록 되어있다.

魚類의 視力에 관한 몇가지 관찰

④ 고기가 感知할 수 있는 nylon糸의 직경

고기를 혼련시키는 실험으로 고기가 nylon糸를 감지하는 것을 연구했다. Sparus aricus치어와 약 3cm 체장을 가진 S. Swinhonis 그리고 미끼로서는 죽은 신선한 Ami (neomysis jadonicus; 큰쟁이)들을 시료로 사용했다. nylon單糸로는 0.42mm의 직경을 가진것과 0.14mm의 직경을 가진 두 종류를 시험했다. 벽이 하얀 직경 45cm의 수조에 해수를 채웠으며, 높이 3cm인 두개의 흰 그릇을 수조속에 넣었고, 길이 30cm의 철사를 두 그릇의 양쪽에 매고 흰 면사가 한쪽 그릇의 철사에 매달리도록 했다(Dt). 미끼로서는 Ami를 각각의 그릇에 넣고 수조속에 5마리의고기를 넣었다. 면사가 달린 그릇으로 들어오는 고기는 작은 대나무 막대기로 쫓았다. 실이 매달려 있지 않은그릇(Do)으로 들어간 고기는 미끼를 먹도록 내버려 두었다. 혼련은 하루에도 여러번씩 반복했으며, Dt와 Do의 위치는 일정하게 바꾸었다. 이들의 혼련이 끝난후 대부분의 고기들은 실이 매달린 그릇을 피하는 것을 배웠다. 다섯마리의 고기중 가장 잘 배운 고기 한마리는 더 혼련을 시켰다. 즉, 이 고기가 Dt그릇으로 들어오기만 하면 수조속에 장치된 전극에서 연속적인 전기속크를 발생하여 자극을 주었다. 혼련이 완전하다고 생각했을 때, 면사 대신 nylon糸를 대치했으며 그 결과를 기록했다. 이 동안에는 nylon糸가 달린 그릇으로 오더라도 자극은 가하지 않았다. 그 결과는 표 I, II와 같다.

<표 I>

The training results in sparus aricus

Date/June		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Total
Cotton twine	Correct	7	9											7	23
	Error	0	0											0	0
nylon monofilament	Thick Correct			8	5	7	11	4							35
	Thick Error			0	1	0	0	1							2
Thin	Correct								6	4	4	5	5		24
	Error								1	3	1	2	3		10

<표 II>

The training results in sparus swinhonis

Date/July. August.		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	Total	
Cotton twine	C.	7	8	9	4	7	10	7										5	6	63
	E.	1	0	0	0	0	0	0											0	0
nylon monofilament	Thick C.								2	6	6	5								19
	Thick E.								0	1	0	1								2
Thin	C.													2	3	1	2			8
	E.													1	1	3	8			13

얇은 nylon單糸(0.42mm dia.)는 거의 다 피했으나, 가느다란 nylon單糸의 경우(0.14mm dia.)는 다 피하지 않았다. 그러나 가느다란 nylon單糸를 고기는 감지하지 못하는 것이라고 결론지을 수는 없다. 고기가 가느다란 nylon單糸를 감지하는지 못하는지를 알기 위해 면사대신 가느다란 nylon糸를 피하는 혼련을 S. Swinhonis에게

魚類의 視覺에 對한 기초적 研究

시켰다. 그결과는 표 III에 있으며 그것은 고기가 가느다란 nylon糸를 감지할 능력이 있음을 시사하는 것이다, 면사를 피하도록 훈련된 고기는 nylon糸도 피하지만(0.42mm dia.) 더 가느다란 nylon糸(0.14mm dia.)는 피하지 않는 경향이 있다. 그러나 가느다란 nylon糸를 감지할 수 있는 능력은 가지고 있다.

〈표 III〉 The training results in sparus swinhonis

Date/July, August		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
Thin nylon monofilament	Correct	2	4	2	3	12	7	11	2	5	15	15	12	10
	Error	4	2	2	4	3	7	2	2	5	3	0	0	0

⑥ 동어(Lateolabrax japonicus)의 먹이 탐색

특히, 일본에서는 Suzuki라고 하는 농어는 일본인들의 중요한 식용어류이다. 일반적으로 알려진 바에 의하면 이 고기는 살아있는 고기의 새우종류들이 있는 곳에서 살고있다. 그래서 이 고기를 잡는데는 활어가 사용된다. Medaka (japanese killifish *Oryzias latipes*; 체장1~1.7cm; 피래비)를 미끼로 사용하여 Suzuki치어(4~6cm)에 대한 실험을 했다. 이정도 크기의 배가고픈 Suzuki는 보통 數分內에 약 10마리의 Medaka(피래비)를 먹어치울 수가 있다. 처음실험에서 보면 Suzuki는 완전한 어둠속에서나 혹은 두 눈이 제거된 상태에서 먹이가 크지 않은 경우에는 잔잔히 찾아 먹을 수 있었다. 눈먼 Suzuki는 수조속에 가느다란 철사로 죽은 Medaka와 나무로 만든 모형 Medaka와 나무로 만든 모형 Medaka를 매달아 놓았을 때, 이들 가까이 헤엄쳐 가더라도 아무런 반응을 보이지 않지만, 만약 미끼가 눈앞에서 요동만 하면 언제나 물어 뜯었다. 미끼가 죽은 Medaka인 경우, 재빨리 잡아 삼켰으며, 모형미끼였을 경우는 그것을 알아차리기 무섭게 내뱉아 버렸다. 그러므로 Suzuki가 일정한 거리에서 자기의 먹이를 찾도록 해주는 것은 視覺이라고 할 수 있다. 미끼의 요동이나 헤엄에 의해서 생기는 물의 움직임도 Suzuki가 미끼를 나뉠때에 있어서 중요한 역할을 하고 있다고 할 수 있다. 두번째의 실험을 하기 위해서 커다란 나무수조 안에 5마리의 Suzuki를 넣고 두 마리의 죽은 Medaka를 미끼로 사용했다. 고정된 미끼 하나는 늘어선 가지끝에 nylon실을 매어 수조 한쪽끝에 잠시 정지시켜 놓고 다른 하나는 앞뒤로 움직이도록 하기 위해서 수조의 한쪽에 매달아 놓았다. 특히, 움직이는 미끼는 30 sec/cycle보다는 덜하지만 빨리 움직이도록 (불규칙적으로)했다. 약 20cm정도 움직였던 미끼가 고정된 미끼보다 더 쉽게 Suzuki에게 발견 되었다. 더우기 이 경우에 사용된 Suzuki의 知覺은 시각이라는 것을 알게 되었다. 세번째의 실험에서는 직선적으로 그리고 규칙적으로 움직이는 미끼가 고정된 미끼보다 더 잘 발견될 수는 없다는 것을 보여 주었다. 그러므로 Suzuki는 일정한 거리에서 자기의 먹이를 視力感知運動에 의해서 발견하며 휴식중인 미끼나 직선적으로 규칙적으로 움직이는 미끼는 거의 유인하는 힘이 없다고 결론지을 수 있다. 미끼의 헤엄이나 요동에 의해서 생기는 물의 운동을 Suzuki는 느낄 수 있으며 Suzuki가 미끼를 물어 뜯게 하는때에 물운동은 없어서는 안될 요소이다. 냄새를 맡고 맛보는 감각은 입에 있는 촉각과 함께 Suzuki가 깨문 먹이를 삼킬 가치가 있는지 없는지 확인하는데 없어서는 안될 것이지만, 먹이를 찾는때는 필수적이지 아니다.

⑦ 火光漁撈 (Light Fishing)

빛이 고기의 망막에 있는 원추체를 오무러들게하고 어둠이 원추체를 늘어나게 하는 원인이라는 것은 이미 Von Frisch(1925)와 그의 학자들에 의해 보고된 바있다. Welsh와 Osborn(1937) 그리고 Wigger (1941)와 그의 학자들은 다음 사항을 보여 주었다. 즉, 고기가 일정하게 어둠속에 있을 때, 대낮보다는 한밤에 원추체가 더 많이 신장되며, 이는 원추체 변화의 일주기성이라고 불리어지기도 한다. 이 연구는 원추체가 어둠에서 밝음으로 적응하는데 변화하는 조명 명암도를 찾도록 해 주었다. 이 명암도는 種과 時間에 따라 여러가지로 변한다. 여러개의 실험장치에 의하면 Lateolabrax japonicus의 원추체 변화는 한 밤중이 되기 전에는 0.04Lux의 조도에서 나타났으며 그후(한밤중)에는 0.01Lux의 조도에서 변화가 보였다.

Cyprinus Carpio의 경우는 한밤중이 되기 전에 0.0005Lux에서 변화가 보였고 한밤중에는 0.00006Lux보다도 덜 밝은 곳에서도 변화가 보였다. 일반적으로 말해서 고기가 매우 낮은 조명속에 있을 때, 한밤이 지난후 보다, 지나기 전에 어둠적응이 더 잘 된다. Kawamoto와 Konisi (1955)는 다음과 같이 말했다. 즉, 고기가(Grella punctata) 어두운 수조 속에 있을 때와 물표면에 약간만 조명이 되었을 때, 고기는 낮에는 밝은 곳(220Lux)에

모였으며 밤에는 거의 밝지 않은 곳(조도계를 이용할 수 없는)에 모였다. 비록 고기의 망막에 있는 원추체의 위치가 실험되지는 않았지만, 낮에 어둠에 적응하는 망막은 낮이 밤보다 어둠적응을 거의 나타내지 않는다는 것이 확실하다. 그러므로 고기의 원추체가 최대의 어둠적응 상태에 있을 때, 희미한 부분에 모인다고 말할 수 있다. 이 결론을 고려해 보면, 고기의 추광성은 한밤이 되기 전에 더 낮은 조명하에서 발생한다. 이것이 빛을 사용하는 어업은 한밤중이 지났을 때보다 한밤중이 되기 전에 더 효과적이라는 기초적인 이유의 하나이다. C. Carpio의 경우 원추체의 변화상황이 L. japonicus의 경우보다 더 낮은 조명하에서 더 많이 있다는 사실은 C. Carpio란 고기의 망막이 낮은 조명에 대하여 더욱 예민하다는 것을 나타내고 있다.

⑥ 照明, 明暗度

고기에 있는 망막의 원추체가 빛을 받을 때, 원추체의 내부 위치가 변한다. 변화된 위치는 Svaetichin (1953)과 Mitarai와 Yagasaki에 의해 보여준 것처럼 限외의 극히 가느다란 전극 방법에 의해 쉽게 측정될 수 있다. 변화된 위치의 넓이는 여러가지 빛자극의 명암도에 의해 바뀔 수도 있다. 즉, 원추체의 감응(답)은 단계적인 것이며, 일정한 범칙에 따른다. 최대폭을 만드는 데에 있어서 빛자극의 명암도가 높을수록 원추체 폭은 넓어질 수 있다고 하지만 최저 명암도라고 하는 어떤 명암도 하에서는 폭은 일정했다. 특별한 어종에 대해서는 최저조도로 부터 특수한 고기의 일상생활에 가장 적합한 상한계를 추리해 낼 수 있다. 몇개의 실험장치에 의하면 최대 원추체 감응을 만드는 최저조도는 Sparus aris (sparidae)에 있어서는 64Lux와 175Lux사이며 Cyprinus Carpis (cyprinidae)에서 있어서는 약 175Lux 이다. Lateolabrax japonicus (serranidae)에 있어서는 800Lux이상이다. 최저명암도 이하일때만 원추체는 조도를 감지할 수 있다고 가정했다. 다시말하면 비록 빛의 조도가 증가할지라도 원추체의 폭은 증가되지 않는다는 원리에 의해서 원추체는 조명이 최저 명암도에 이를 때, 완전히 자극되어 강렬하게 감응한다. 고기의 망막이 최저 조도보다 더 높은 강렬한 빛을 받을 때, 시야에서 목적물을 거의 구분해 낼 수 없다. 그러므로 원추체의 최대 감응을 일으키기 위해서 최저 조도는 고기의 일상생활에 적당한 환경 조명을 측정함으로써 어업에 유용하게 이용될 수 있다. 이 명암도가 S. aris에 대해서는 64Lux와 175Lux사이, C. carpio에 대해서는 175Lux 그리고 L. japonicus에 대해서는 800Lux이상으로 측정된 후, 이들 고기는 이런 어둠 속에서 적응한다는 것을 알 수있었다. S. aris는 깊은 물에 살며 주로 야간에 먹이를 섭취한다는 사실과 C. carpio는 보통 흙탕물에서 살며 화학적 감각기(chemoreceptors)에 의해 먹이를 찾는다는 사실과 반면에 L. japonicus는 보통 맑은 연안에 살며 낮에 먹이를 섭취한다는 사실들이 이 결론을 뒷받침하고 있다. C. carpio에 대한 원추체의 감응도가 L. japonicus의 감응도보다 더 예민하다는 것은 위에서 가정한 바 있다. 원추체 기록의 주의깊은 관찰로부터 움직이는 목적물을 감지할 수 있는 능력의 지표인 flicker fusion frequency는 L japonicus가 최고이며 S. aris가 최저 C. carpio가 중간이다.

문 헌

1. Beer, T. (1894): Die Akkommodation des Fischeauges, Pflüg. Arch, 58; 523-650.
2. Frisch, K. von.(1929): Farbensinn der Fische and Duplizitätstheorie. Z. vergl. physiol., 2; 393-452.
3. Kawamoto, N. Y. and Konishi, J. (1955): Diurnal rhythm in photo taxis of fish., Rep. Faculty of Fisheries, pref. Univ. Mie., 2; 7-17.
4. Mitarai, G. and Yagasaki, Y. (1956): Resting and action potentials of single cone. Ann. Rep. Resting Institute of Environmental Medicine, Nagoya Univ. 1955, 54-64.
5. Svaetichin, G. (1953): The cone action potentiall. Act physiol. scand, 29, Suppl. 106-600.
6. Tamura, T. (1955): On the senses of food-drstvhing in Lateolabrax japonicus. (in Japanese with English summary). Bull. Jap. Soc. Sci, Fish.1 7; 296-300.
7. Tamura, T. (1957a): A study of visual preception in fish, especially on resolving power and accommodation. Ibid. 22; 536-557.
8. Tamura, T. (1957b): On the relation between the the intensity of illumination and the shifting of

魚類의 視覺에 對한 기초적 研究

- cones in the fish retina. (In Japanese with English summary). *Ibid.* 22; 742-746.
9. Tamura, T., Mitarai, G. and Sugita, Y. (1957): The lowest intensity of illumination to produce the maximum cone potential in the fish retina and its ecological meaning. *Ibid.*, 23; 86-91.
10. Welsh, J. H. and Osborn, C. M. (1937) Diurnal changes in the retina of the catfish, *Ameiurus nebulosus*. *J. comp. Neurol.* 66; 349-359.
11. Wigger, H. (1941); Diskontinuität und Tagesrhythmus in der Dunkelwanderung retinaler Elemente. *Z. f. vergl. Physiol.* 28; 421-427.