

## 音響 馴致에 의한 명태의 행동 특성

朴容石\* · 飯田浩二\*\* · 櫻井泰憲\*\* · 梨本勝昭\*\* · 徐斗玉\*

\*濟州大學校, \*\*北海道大學 水産學部

(1996년 8월 13일 접수)

### Behavioural Characteristics of Walleye Pollack *Theragra chalcogramma* by Acoustic Sound Conditioning

Yong - Seok PARK\*, Kohji IIDA\*\*, Yasunori SAKURAI\*\*,  
Katsuaki NASHIMOTO\*\* and Du - Ok SEO\*

\*Cheju National University, \*\*Faculty of Fisheries, Hokkaido University

(Received August 13, 1996)

#### Abstract

It is most important to understand the behaviour of fish in case of the betterment of the current fishing gear and methods or the development of the conditioning by acoustic sound in marine ranching.

This investigation has been attempted to provide for the prediction of the response action of fish to acoustic sound. The experimental fish was conditioned with sound and bait. As the acoustic sound for stimulus, the pure tone of sine waveform at the frequency of 200Hz was used. This pure tone was determined from previous investigation about hearing ability of walleye pollock *Theragra chalcogramma*. The fork length of walleye pollock used in this experiment was 385~459mm.

The conditioning proceeding was recorded in the video tape recorder. Frequency of appearance in the feeding area was analyzed with computer and video tape recorder. The position of fish was tracked using the mouse cursor and picture mixed on the superimpose board.

The response of conditioned fish to sound stimulus was appeared in the 8th day firstly. The conditioned fish remembered the stimulus sound for 4 days. Average frequency of appearance in the feeding area during the 30 seconds sound projection or 1 minute after the sound stimulus was 51%, and was higher than before it.

#### 서 론

최근 어군의 행동을 효율적으로 제어하는데 소리 자극을 많이 이용하고 있다. 유용한 물고기를 대상으로 한 해양목장에서는 유어기 때부터 방성

과 급이의 조합으로 물고기를 음향 순치시켜서, 초기감모를 현저하게 감소시키는 동시에 섭이효율을 높여, 성장율을 증가시키고 있다<sup>1)</sup>. 해양목장에서는 물고기를 일정해역에 정착시키기 위하여, 치어의 육성단계에서 부터 방성과 급이라는 조건

학습으로, 물고기에게 후천적 조건반사를 유발시켜서 이것을 이용하고 있다<sup>2)</sup>. 日本의 大分縣佐伯灣의 해양목장에서는 참돔을 방류한 후에도 방성과 급이를 실시하는 음향 순치 사업이 이루어지고 있다<sup>3,4)</sup>. 이곳에서는 300Hz의 순음을 사용하여 참돔 *Pagrus major*을 음향 순치시키고 있는 데, 방류 후 1세어의 재포율이 28.3%에 이르고 있다<sup>5)</sup>. 이와같이 해양목장에서의 음향 순치 및 음향어법을 발전시켜 나가기 위해서는 수중음에 대한 물고기의 습성과 행동의 메카니즘을 미리 충분히 파악해 둘 필요가 있다.

일반적으로, 어류의 가청 주파수 범위는 16~5,000Hz이고, 100~1,000Hz 주파수대의 음에 민감하다는 것이 알려져 있다<sup>6)</sup>. 그런데, 소리자극으로 어군의 행동을 제어하려면, 먼저 물고기의 음향생태, 수용할 수 있는 주파수 범위와 청각 레벨을 파악해 둘 필요가 있다. 특히, 해양목장에서 수중음을 이용하여 음향 순치된 어종을 일정한 장소에 유집하려면, 학습음에 대한 기억력의 지속성을 파악해두는 것도 중요한 것이 된다.

따라서, 본 연구에서는 장차 해양목장의 음향 순치에 필요한 기술을 축적하기 위하여, 어획하기 용이하면서도 아한대 해역의 중요한 어종의 하나인 명태를 선정했다. 번식기의 명태의 음향생태 및 청각역치, 임계비에서 얻은 결과를 토대로 하여, 학습음과 먹이로 명태를 학습시켜서 수중음에 대한 행동특성을 규명하였다.

## 재료 및 방법

실험어는 1994년 1월에 日本의 北海道 南茅町の 정치망에 입망된 명태로써, 그 중 50마리를 北海道大學 부속 白尻水産實驗所까지 운반하여, 무작위로 체장 385~459mm의 수컷 8마리와 암컷 5마리를 추출하여 실험용 수조에 수용하였다. 3개월간 사육하여 환경에 충분히 순응시킨 후, 색이 기인 4월 초순부터 5월 초순까지 실험하였으나, 조건 학습실험을 시작하기 전까지 먹이를 주지 않았다. 실험기간중인 5월달의 수온은 최고 11.3℃, 최저는 4월달의 4.2℃였다.

실험용수조는 길이 5.5m, 폭 2.5m, 수심 1.3m,

용량 13톤의 레스웨이형의 FRP로 제작된 것으로써, 실험장치와 모식도는 Fig. 1과 같이 하였으며, 자연해수를 사용하여 수조 중앙부의 하면 양쪽에서 주수하여 수조 상부의 측면으로부터 배수시켰다. 또한, 외부의 빛을 차단할 수 있는 방안에 있는 실험수조의 상면에 조광 가능한 할로겐램프를 설치하여, 자연광의 주기에 준해서 주간만(06:00~17:30) 점등했다. 수면 조도는 장소에 따라서 다르지만 5.3~75.2lx의 범위였다.

조건학습용 급이장치는 PVC 파이프로 제작된 것으로써, 원격 급이할 수 있도록 하였으며, 학습중에 해수와 함께 먹이를 흘려 보내어 물고기에게 실험자의 영향이 미치지 않도록 배려했다. 레스웨이형 수조의 장반경의 관측창쪽에 비디오 카메라를 설치하여, 실험어의 행동을 관찰하면서 기록했다.

Fig. 1에서 신호발신기(TRIO製, AG-203)로 발생시킨 순음(정현파)을 카세트 테이프에 수록하여 조건학습에 사용하였으며, 카세트 테이프레코더로부터 출력한 신호를 오디오용의 증폭기로 증폭하여 수조의 중앙에 설치한 수중 스피커(島田理化製, FC-12型)로 방성했다.

조건학습음은 명태의 번식 행동에 수반되는 명음<sup>7)</sup>과 청각특성에 관한 실험으로부터 구한 감지기 쉬운 200Hz의 순음을 사용했다<sup>8)</sup>. 실험어가 배경잡음으로부터 학습음을 충분히 감지 가능하지 않으면 안되는 것과 음향 순치된 어종을 일정장소에 유집하는 유치 음압 레벨이 110~130dB<sup>9)</sup>인 것을 고려하여, 수중스피커로부터 약 130dB의 학습음이 출력되도록 했다.

Fig. 2는 조건학습의 과정을 나타낸 것으로써, 오전과 오후 각각 1회씩, 수조내에 학습음을 방성하면서 급이함으로써 조건학습을 실시했다. 급이 시간대는 오전 8시반부터 10시 사이와 오후 3시부터 5시까지였다. 방성시작후 약 10초 후 급이하여 20초간에 걸쳐서 먹이를 준 다음 방성을 정지하여 조건학습을 시켜나갔다. 먹이는 냉동한 까나리 *Ammodytes personatus*를 잘게 자른 것이었으며, 급이량은 실험어가 배부르지 않도록 조건학습 1회당 15~68g(습윤)으로 했다. 실험어가 학습음에 반응하여 급이장치와 수중스피커의 주위에 위집하는 행동을 보일 때까지 조건학습을 계속했다. 또

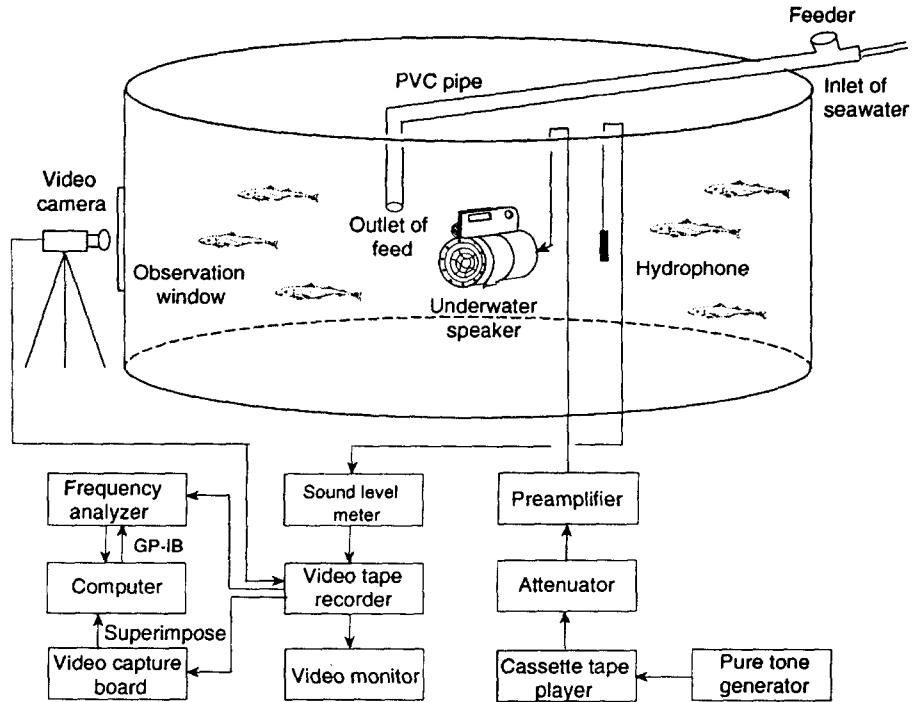


Fig. 1. Block diagram of the experimental system used for sound projection and measurement of sound pressure.

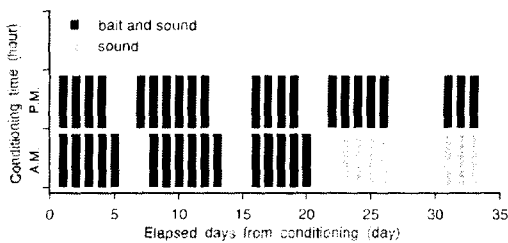


Fig. 2. Time of conditioning with bait and 200Hz pure tone each day.

한, 방성시 실험어가 명확히 급이장치 밑에 위집하는 행동이 목시 관측된 경우에 조건학습이 완료한 것으로 간주했다. 그러나, 방성시 실험어가 학습음에 대하여 어떠한 행동을 보이는지 명확히 판단하기 위하여 Fig. 1에 나타내는 바와같이 녹화한 화상과 퍼스널컴퓨터의 화상과를 비디오 캡처보드로 슈퍼임포우즈하여, 실험어의 주둥이 끝의 위치를 2초 간격으로 판독해서 해석하였으며, 방성 전 3분간, 방성 중 30초간, 방성 후 3분간 색이장에 출현하는 빈도를 3점 이동평균으로 구했다.

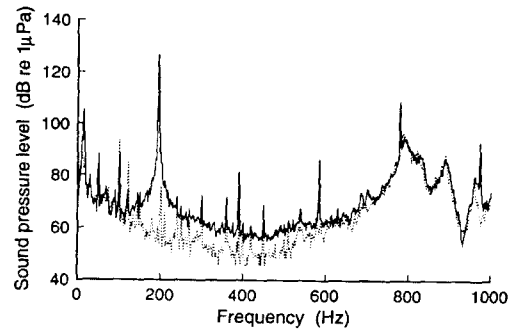


Fig. 3. Spectral analysis of 200Hz pure tone(solid line) and background noise(dotted line) in the experimental water tank, showing the frequency(abscissa) and the sound level(ordinate).

## 결과 및 고찰

### 1. 수중음의 주파수 및 음압

Fig. 3은 급이장치로 해수를 흘려보냈을 때의 배경잡음과 200Hz의 순음을 방성했을 때의 스펙트

럼 레벨을 나타낸 것이다. 급이장치로부터 해수가 주수되면 배경잡음의 음압 레벨은 200Hz 이하와 약 800Hz의 곳에 강하게 나타난다. 또, 200Hz의 학습음은 200Hz의 주파수대에 약130dB의 음압이 나타나고 있어서, 그 음압 레벨은 배경잡음의 스펙트럼 레벨보다 약 55dB 높게 나타남을 알 수 있었다.

음향어법과 해양목장에서 수중음이 어류의 유인과 위협에 사용되고 있다. *Ishioka et al.*<sup>10,11</sup>에 의하면 참돔이 가장 민감하게 반응하는 주파수는 200Hz이지만, 음압이 140dB 이상이 되면 유인효과보다도 오히려 섭이행동에 제약적인 영향을 미쳐서 위협 현상을 나타나게 한다. 또, 물고기에게 쾌적한 음압강도인 유치 레벨의 음압범위는 110~130dB인 것으로 알려져 있다<sup>12</sup>. 이러한 것으로부터, 해양목장에서 어류의 도피를 방지하고 음원 주변에 적극적으로 유집하기 위해서는 대상어가 학습음을 감지하기 쉬워야 하고, 감지하는 음압 레벨이 130dB 이하이어야 바람직한 것이 된다.

수중음에 대한 명태의 청각에 대해서 60~1,000 Hz의 주파수로 실험한 결과에 의하면, 이 주파수 범위에서 양호하게 반응을 나타내고 있었으며, 최

소 감지음압은 200Hz에서 97dB인 것이 판명되어 있다<sup>8</sup>. 또, 수조내의 배경잡음의 스펙트럼 레벨은 200Hz에서 85.1dB, 명태가 배경잡음으로부터 신호음을 변별할 수 있는 임계비는 200Hz에서 44.4 dB이므로<sup>9</sup>, 조건학습음으로 방성한 음압은 명태가 명확하게 인지할 수 있는 범위 및 세기였다고 판단된다. 본 실험에서는 200Hz의 순음을 130dB의 음압으로 방성하여 조건학습을 실시하였으므로, 이것이 물고기에게 생리적인 조건반사를 부여하여 명태가 음원에 위집하는 것으로 생각된다.

## 2. 먹이와 학습음에 의한 음향 순치효과

방성하지 않을때 수조내의 대부분의 명태는 표층 또는 수조 벽면 근처의 조도가 낮은 장소에서 체영하고 있었으나, 방성과 급이시의 명태의 행동 특성상 다음 3가지 패턴으로 나누어졌다. 즉, 수면과 급이장치의 사이에서 표층에 떠있는 먹이를 색이하는 어군, 급이장치와 수중 스피커의 사이에서 서서히 침강하는 먹이를 색이하는 어군, 수조 바닥에 침강한 먹이를 색이하는 어군으로 나뉘서 반응 행동을 해석했다.

여러 가지 제약으로 인하여 수조의 측면에 설치

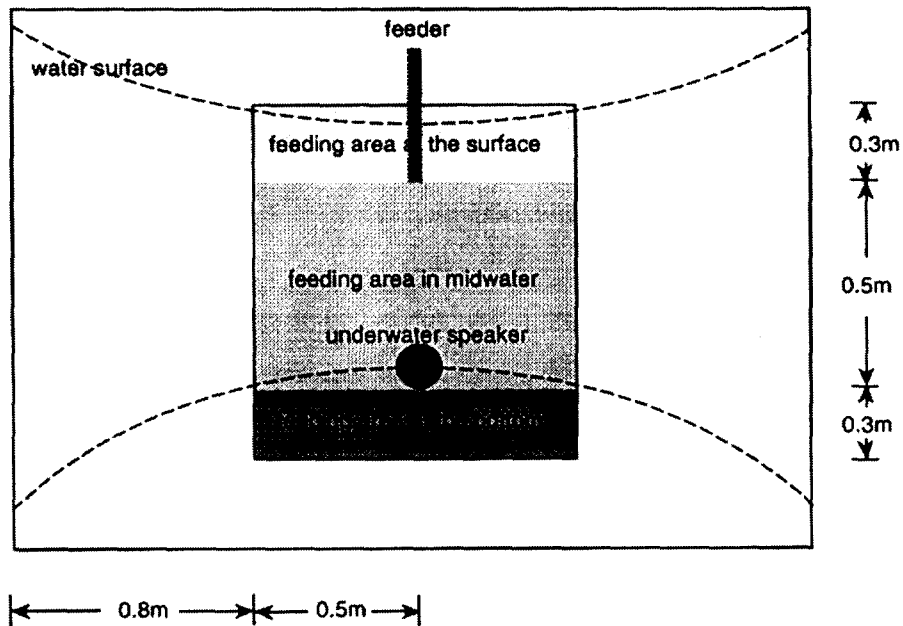


Fig. 4. Front view of the feeding area.

한 1대의 관측장치 밖에 사용할 수 없었으므로, 재생한 비디오 영상으로부터 물고기의 분포위치를 2차원좌표로 추정했다. Fig. 4는 물고기의 행동을 촬영한 영상을 재생하였을 때, 비디오 모니터상에 표시된 수조내의 영상을 모식적으로 나타낸 것이다. 앞에서 열거한 물고기의 행동패턴에 대응시켜서, 색이장을 표층, 중층, 저층의 3층으로 나누어서, 각각의 구획에 출현하는 물고기의 수를 세었다.

Fig. 5는 색이장의 평면도를 나타낸 것으로써, 해칭으로 표시한 영역이 색이장이다. 이 영역은 수조벽면의 관측창으로부터 약 2m 이상 떨어진 곳으로, 관측각도는 22°였다.

Fig. 6은 수조의 측면도를 나타낸 것으로써, 비디오 카메라가 위치한 곳에서 보았을 때, 색이장의 표층은 수면으로부터 수심 30cm, 색이장의 중층은 수심이 30~80cm, 색이장의 저층은 수심이 80cm 되는 곳에서부터 수조 저면까지를 지칭한다. 따라서, 이러한 3영역을 색이장의 상층, 중층, 저층으로 정의하여 사용하였다.

한편, 본 실험에 사용한 전개체수를  $N$ 마리, 색이장에서 계수 가능한 명태의 마리수가 수면으로부터 급이장치의 사이에  $N_s$ 마리, 급이장치와 수중 스피커의 사이에  $N_m$ 마리, 수중 스피커와 수조 바닥의 사이에  $N_b$ 마리, 전색이장에  $N_t$ 마리가 있다

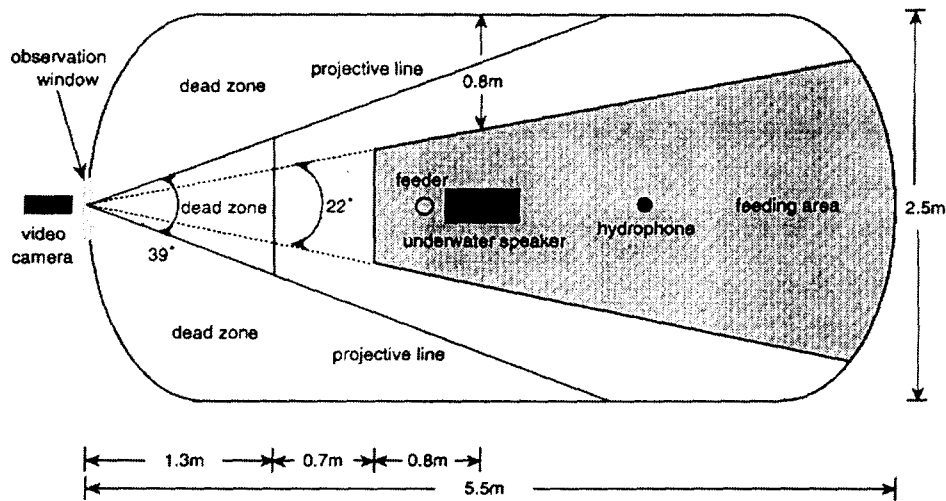


Fig. 5. Top view of the feeding area.

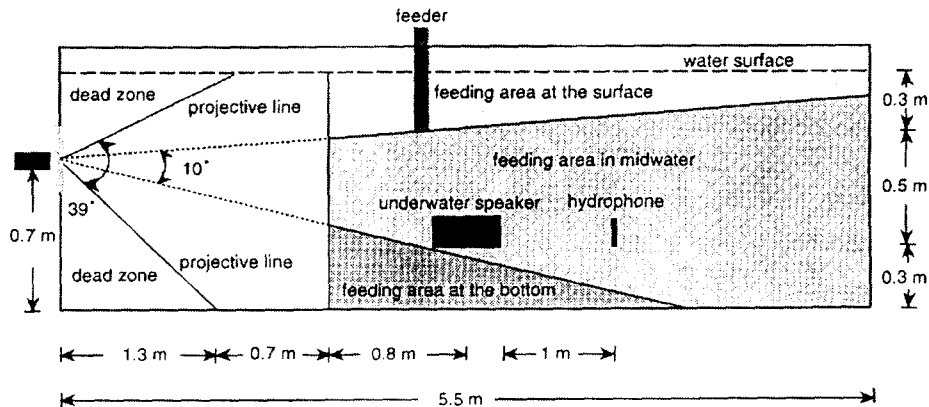


Fig. 6. Side view of the feeding area.

고 하면,

표층에서의 출현빈도(*F.As.* : Frequency of Appearance at the Surface)는

$$F.As.(%) = \frac{N_s}{N} \times 100$$

중층에서의 출현빈도(*F.Am.* : Frequency of Appearance in midwater)는

$$F.Am.(%) = \frac{N_m}{N} \times 100$$

저층에서의 출현빈도(*F.Ab.* : Frequency of Appearance at the Bottom)는

$$F.Ab.(%) = \frac{N_b}{N} \times 100$$

전색이장에서의 출현빈도(*F.At.* : Frequency of Appearance in the Total feeding area)는

$$F.At.(%) = \frac{N_t}{N} \times 100$$

로 나타낼 수 있다. 단,

$$N_t = N_s + N_m + N_b$$

이다.

Fig. 7은 조건학습 개시일로부터 26일 경과한 후, 4일간 조건학습을 중지하여 학습음만 들려주었을 때 30일째의 출현빈도 *F.As.*(▲), *F.Am.*(□), *F.Ab.*(○), *F.At.*(●)를 구해서 나타낸 것이다. 색이장 및 그 이외의 장소에서 유영하고 있던 실험어가 학습음을 기억하고 있다 방성과 동시에 반응을 보여서 색이장에 출현하고 있으므로, *F.As.*, *F.Am.*, *F.Ab.*가 방성 전보다 높게 나타나고 있다. 실험어가 방성 개시로부터 종료 약 1분 후까지 저층의 색이장에서 활발한 색이 행동을 보이다가 색이 행동이 점차 소실되었다.

Fig. 8은 방성과 급이로 조건학습을 실시한 첫째 날부터 22일째까지 방성 전후 각각 1분간, 방성 중 30초간의 평균출현빈도를 구해서 나타낸 것이다. Fig. 7, 8에 나타내는 바와같이 표·중층의 색이장 또는 그 이외의 장소에서 유영하고 있던 실험어가 방성과 동시에 저층으로 이동하고 있으므로, *F.Ab.*가 방성 전보다도 방성 후에 높게 나타나고 있으며, 조건학습효과가 8일째에 처음으로 나타나고 있다고 판단된다. 조건학습 초기에 *F.As.*는 명확한

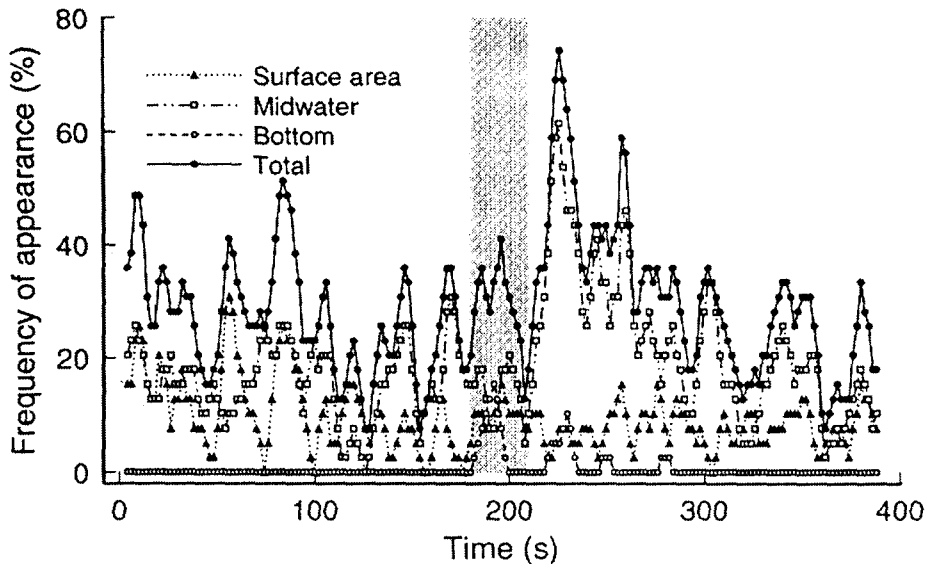


Fig. 7. Frequency of appearance in the feeding area 3 minutes prior to the stimulus, during the 30 seconds sound projection, and 3 minutes after the stimulus. The shaded portion represents the period of sound projection. Data is from the 30th day in the evening. During this observation only sound stimulus was applied. Conditioning was not conducted for 4 days from the 26th day to the 29th day.

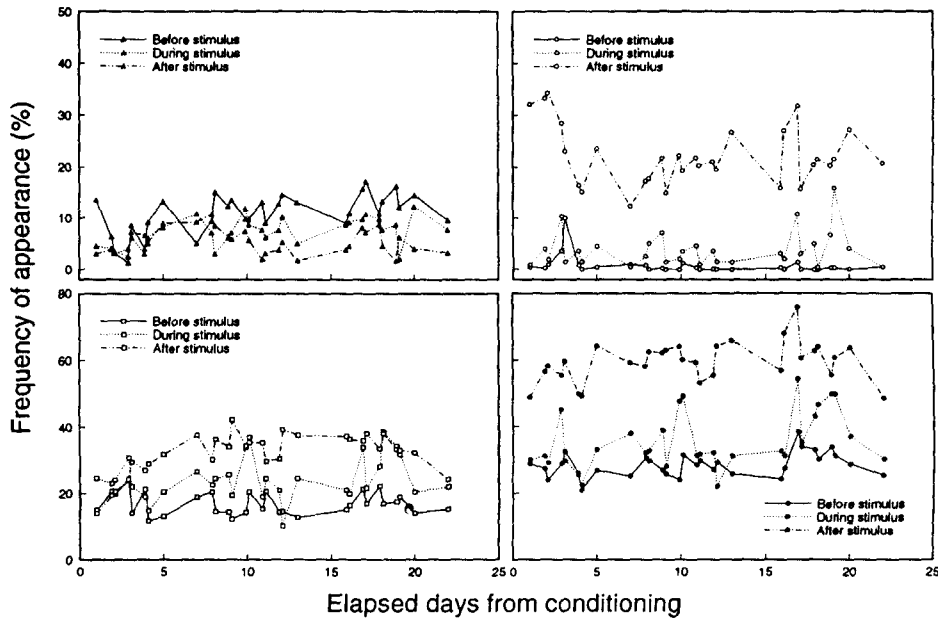


Fig. 8. Average frequency of appearance in the feeding area 1 minute prior to the stimulus, during the 30 seconds sound projection, and 1 minute after the stimulus. Data of frequency of appearance is from the 1st day to the 22nd day. During this observation bait and sound stimuli were applied.

경향이 나타나고 있지 않지만, 표층에 있던 실험어가 학습음의 청음과 동시에 색이하기 위하여, 저층과 중층으로 유영이동하므로, 8일째 이후부터 방성 전보다도 방성 중과 방성 후에 낮아지는 경향이 나타나고 있다. 급이구가 중층에 위치하고 있고, 또 수조 바닥에 침강한 먹이를 색이하고 있으므로, 방성과 급이시의 *F.Am.*과 *F.Ab.*가 *F.As.*보다도 높게 나타나고 있다. 방성 중의 *F.At.*는 주로 *F.Am.*이 그대로 반영되고 있으므로, 방성 후에 방성 전과 방성 중 보다 높게 나타나서 출현빈도는 60~70%에 이르고 있다.

福田<sup>13)</sup>은 음향 순치 종료시 참돔 치어의 급이장치 주변에의 위집율이 100%라고 가정하여, 방성하지 않는 조건하에서는 음원 부근에 20~60%의 참돔의 치어가 분포하고 있지만, 음원으로부터 떨어진 장소에서의 치어의 분포밀도는 10% 이하라고 보고하고 있다. 또한 같은 조건하에서 방성하였을 경우 참돔 치어의 음원 주변에서의 위집율이 방성 직후 100%가 되었으나, 음원으로부터 떨어진 곳에서는 치어가 출현하지 않는다는 것과 음원이 있는 곳에서는 방성 종료 후 2분간 최고로 치어의

80%가 집중하고 있다는 것을 밝히고 있다. 즉 본 실험의 결과에서도 명태는 방성시 방성급이장치의 주변에 많이 분포하는 경향이 나타났다.

Fig. 9는 먹이와 소리로 조건학습을 완료한 물고기를 대상으로 하여, 23일째부터 33일째까지 소리만 방성하였을 때의 출현빈도를 표층·중층·저층별로 구분하여 방성 전·방성 중·방성 후의 출현빈도를 나타낸 것이다. *F.At.*는 방성 전에 14~37%, 방성 중에 23~51%, 방성 후에 37~47%이므로, 전개체중 약 51%가 학습음을 인지하여 색이장에 위집하는 것으로 추측된다.

上城<sup>14)</sup>은 해양목장에서 음원 급이 부이에 부착된 어군탐지기를 사용하여 방성 전·방성 중·방성 후의 평균 체적산란강도를 조사하여, 방성 급이 후에 출현빈도가 높아지는 것을 보고하고 있고, 본 실험의 결과에서도 Fig. 7~9에 나타내는 바와같이 방성 전·후의 출현빈도를 보면, 방성 후의 출현빈도가 높게 나타나고 있다.

### 3. 수중음에 대한 조건반사

藤谷 등<sup>14)</sup>은 해양목장의 중요 대상어종의 하나

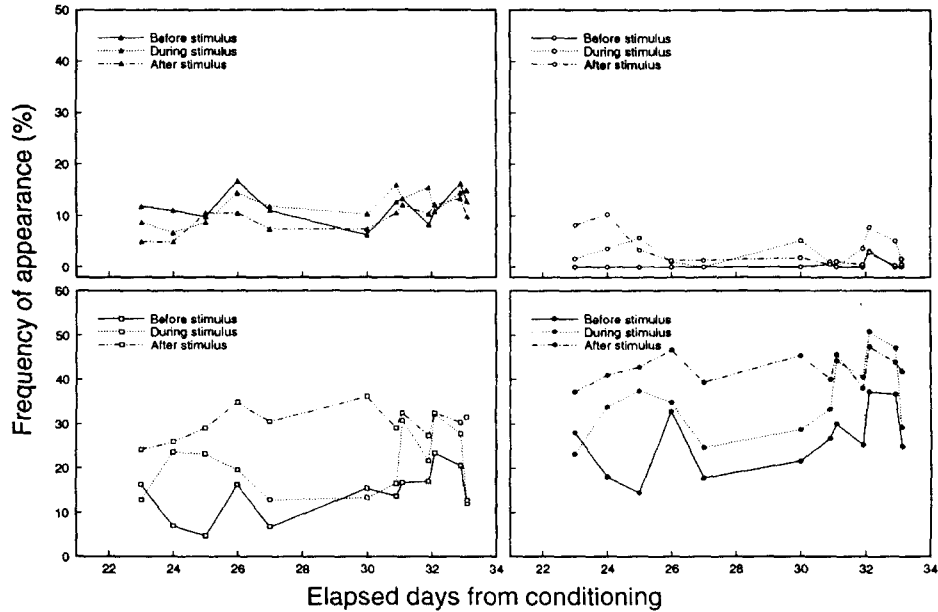


Fig. 9. Average frequency of appearance in the feeding area 1 minute prior to the stimulus, during the 30 seconds sound projection, and 1 minute after the stimulus. Data of frequency of appearance is from the 23rd day to the 33rd day. During this observation only sound stimuli were applied.

인 참돔을 수조에서 음향 순치시켜서, 참돔은 순치음에 대해서 선택성이 비교적 양호하고, 자극·충격에 의해서 조건학습된 특성은 상실되지 않는다는 것과 조건학습의 음향발사 정지 후 적어도 학습음의 기억기간이 4개월간 지속되고 있으므로, 참돔이 음향 순치에 적합한 어종이라고 보고하고 있다. 본 실험에서는 명태의 음향 순치의 효과를 확인하기 위한 실험이었으므로, 장기간에 걸친 학습음의 기억기간을 파악할 수 없었지만, 4일간 조건 학습을 중지하였다가 학습음을 들려주면서 조사한 반응은 Fig. 7 및 9와 같다.

福田<sup>13)</sup>는 참돔의 치어가 7~10일간 반복되는 조건반사에 순치되어, 방성개시와 동시에 저층으로부터 표·중층으로 부상하여 활발한 유영행동을 하는 사례를 보고하고 있다. 그러나, 명태는 표·중층성 어종이므로 참돔과 달리 하악골이 상악골보다 돌출해 있어서, 저층의 먹이보다는 표·중층을 유영하는 플랑크톤류를 섭식하고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 선천적인 색이 행동과는 다르게 수조 바닥에 가라앉은 먹이를 섭식하고 있는 것으로 판단할 때, 음향 순치가 완료되면 수중음과

먹이라는 조건 자극이 명태에게 유어기 때와는 다른 후천적인 색이 행동 패턴을 유발시키고 있다고 본다.

竹村 등<sup>15)</sup>은 음향어법에 사용되고 있는 섭이음은 조건학습음이며, 듣고나서 익숙해진 섭이음이 생리적인 의미를 갖고 있는 것이므로, 종고유의 섭이음은 있을 수 없다고 보고하고 있다. 본 실험에 사용한 200Hz의 순음도 먹이와의 조합으로 조건 학습에 사용했으므로, 명태의 색이 및 섭이행동이라고 하는 생리적 요구로부터 반응의 응답을 나타내게 하였다고 생각된다. 그러나, 이번에 사용한 순음은 물고기에게 있어서 치어 때부터 갖고 있는 생득적 조건반사음이 아니라, 성어가 되어서 얻은 후천적 조건반사음이기 때문에 100%의 응답은 기대할 수 없다고 추찰된다.

조건학습의 진행과 더불어 음원과 급이장치 부근에의 출현빈도가 높아지는 경향이 나타났다. 그러나, 급이장치와 음원을 일정 장소에 고정하여 실험하였기 때문에, 물고기가 음원 또는 급이장치를 특정한 공간위치로 기억하고 있다고도 생각된다. 그러므로, 다음에는 음원과 급이장치의 설치장소



를 이동시켜가면서 방성하여, 음원 주위의 출현빈도를 검토하여야 할 과제가 남아있다.

## 요 약

본 연구에서는 해양목장에서 음향을 사용한 어군 행동제어에 관한 기초적인 자료를 얻기 위하여, 감지하기 쉬운 주파수의 순음과 먹이의 조합으로 어류를 학습시켜서, 음향 순치의 가능성을 검토했다.

尾叉체장이 385~459mm인 수컷 8마리와 암컷 5마리를 실험수조에 수용하여, 수조내에 설치한 수중 스피커로부터 감지하기 쉬운 200Hz의 순음을 방성하면서 원격급이장치로부터 급이하여 조건학습을 실시했다. 학습과정을 수록한 비디오 영상으로부터 물고기의 행동을 해석하여 색이장에 출현하는 빈도를 방성 전·방성 중·방성 후로 나눠서 해석했다.

학습개시일로부터 8일째에 학습음에 첫반응을 보였으며, 4일간 학습을 중지한 후에 학습음을 방성하여도 반응을 보였다. 방성 후에 음원부근에 위치하는 율이 방성 전보다 높아져서, 1 분간의 평균 출현빈도는 51%였다.

## 사 사

본 연구를 수행하는 데 있어서 실험수조의 관리와 실험장치의 조립, 실험어의 사육에 협력해 주신 北海道大學 水産學部 附屬 白尻水産實驗所の 嵐田洋悅 技官, 野村 潔 技官, 小川キミコ 事務員에게 감사의 뜻을 표합니다. 또, 실험어를 제공해 주신 川内谷才三씨에게 사의를 표합니다.

## 참고문헌

- 1) 上城義信(1991) : 音響馴致システムによる魚群制御. 水産工學, 28, 65 - 70.
- 2) 長崎縣水産物流通課(1993) : 音響馴致によるマダイの海洋牧場造成. 水産の研究, 12, 110 - 115.
- 3) 能津純治(1985) : 大分縣における海洋牧場の造成について. 大分縣水試調研報, 12, 140 - 148.
- 4) 上城義信, 壽 久文, 大石 節, 益田信之, 橋本晋策(1990) : 海洋牧場漁業管理. 大分縣水試調研報, 14, 45 - 55.
- 5) 上城義信, 壽 久文, 大石 節, 益田信之, 橋本晋策(1990) : 音響馴致によるマダイの滞留效果. 大分縣水試調研報, 14, 29 - 39.
- 6) 古河太郎(1970) : 聽覺. 「魚類生理」(川本信之編), 恒星社厚生閣, 東京, 462 - 481.
- 7) 朴 容石, 櫻井泰憲, 飯田浩二, 向井 徹, 佐野典達(1994) : 飼育下におけるスケトウダラの繁殖行動に伴う鳴音. 日本誌, 60, 467 - 472.
- 8) 朴 容石, 飯田浩二, 向井 徹, 櫻井泰憲(1995) : スケトウダラの聽覺特性. 日本誌, 61, 159 - 163.
- 9) 朴 容石, 飯田浩二, 梨本勝昭(1995) : スケトウダラの聽覺閾値と雜音スペクトラムレベル比. 日本誌, 61, 847 - 853.
- 10) H. Ishioka, Y. Hatakeyama, S. Sakaguchi and S. Yajima(1986) : The effect of sound stimulus on the behavioral disturbance of red sea bream, *Pagrus major*. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., 20, 59 - 71.
- 11) H. Ishioka, Y. Hatakeyama and S. Sakaguchi(1988) : The hearing ability of the sea bream *Pagrus major*. Nippon Suian Gakkaishi, 54, 947 - 951.
- 12) 龜山良己(1992) : 魚の聽覺能力. 水産工學, 28, 111 - 119.
- 13) 福田 穰(1985) : 音響馴致されたマダイの仕切網内における行動特性. 大分縣水試調研報, 12, 70 - 75.
- 14) 藤谷 超, 坂口清次, 福原 修(1973) : マダイ種苗の音響馴致のための研究. 淺海域における増養殖の開發に關する綜合研究, 3, 251 - 265.
- 15) 竹村 陽, 西田知熙, 小林洋一(1988) : 魚類の攝餌音の誘引效果について. 長崎大學水産學部研究報告, 63, 1 - 4.