

超音波 標識를 이용한 養殖魚의 游泳 행동 추적

신 현 옥

부산수산대학교

(1992년 11월 5일 접수)

Ultrasonic Tracking of Movements of Striped Jack (*Caranx delicatissimus*) in the Nunoura Bay, Japan

Hyeon-Ok SHIN

National Fisheries University of Pusan

(Received November 5, 1992)

The movements of three striped jack (*Caranx delicatissimus*, 24cm of body length) were tracked by ultrasonic telemetry in the Nunoura Bay in August 1990. A school of the striped jack has been released near by the fish farming rafts by Goto branch of the Fisheries Agency and Japan Sea-Farming Association. To investigate the staying area and the swimming pattern of the fish, small size pinger ($\phi 8.5 \times L 35 \text{ mm}$, 140dB re $1 \mu \text{ Pa}$ at 1m, 69kHz) was tagged on the dorsal fin without any anesthesia. The movements of three tagged fish are monitored at the same time with four omni-directional hydrophones. The locations of the fish are calculated by the hyperbolic method and tracked by a technique so called time division scheme which uses both the pulse interval and the phase. Three pingers used have the pulse interval of 1.7, 1.8 and 1.9sec, respectively, and the common pulse duration of 15ms. In results it was capable to estimate behavior right after the release, swimming speeds and approximate moving area of the fish. The movements were tracked for a week continuously, and it was found out that the staying area of the fish was around or under the farming rafts. Sometimes they swam together but most of the time they move separately. The average swimming speed of those fish was about two times of the body length.

서 론

초음파 핑거를 이용한 개체어의 유영행동의 추적에 관한 실험은 다수의 연구자들에게 의해 행하여져 왔다. 이러한 바이오텔레메트리

리(biotelemetry) 연구와 관련하여 魚의 유영행동을 자연 상태와 가까운 상태에서 측정하기 위한 핑거의 小型化, 현장에서 실험결과를 확인할 수 있는 자료처리의 自動化, 群으로서의 유영행동을 관측하기 위한 複數化등

의 필요성이 언급되어 왔다¹⁾.

본 연구에서는 이들 필요성 중에서도 핑거를 부착한 複數魚의 유영행동을 현장에서 실시간으로 식별하여 나타낼 수 있는 시스템과 그 실험결과를 기술한다.

장치 및 방법

1. 초음파 핑거

사용한 3개의 초음파 핑거는 자발발진식 (free run type)으로 전원만 넣어주면 정하여진 시간마다 초음파 펄스를 발사한다. 이들 핑거의 주파수는 69kHz, 음향출력레벨 140 dB (re 1μPa at 1m)로서 펄스 폭이 15ms이다. 핑거의 펄스 주기는 1.7sec, 1.8sec 및 1.9sec이다. 핑거의 크기 및 중량은 직경 8.5mm, 길이 35mm, 공중중량 4.3g, 수중중량 2.7g이며, 핑거의 수명은 약 7일 이다.

2. 수신처리 시스템

수신처리 시스템의 계통도를 Fig. 1에 나타낸다. 핑거로부터의 신호는 4개의 수파기에서 수신한다. 수파기 4개는 70kHz용의 무지향성의 것을 이용하여 36m×26m의 간격으로 배치하였다. 수파기의 수신감도는 -200 dB (1V/μPa)이다. 수파기에 수신된 미약한 신호는 수신기에서 증폭된다. 수신기의 최대이득은 120dB이고, 수신 대역폭은 3300Hz (-6dB)이다. 이 신호는 과형정형 회로를 거쳐 8비트의 싱글보드 컴퓨터에 입력된다. 입력처리에 소요되는 시간은 33.3μs이다. 싱글보드 컴퓨터에서는 수신기를 통한 디지털 신호의 펄스 폭을 체크하여 펄스성 잡음을 제거하고 이들 신호로부터 4개의 수신기에 수신된 시간의 지연 정도 즉 受信時間差를 계산한다. 정상적인 신호와 受信時間差는 RS-232C 케이블을 거쳐 퍼스널 컴퓨터로 입력된다. 퍼스널 컴퓨터에서는 핑거의 식별, 위치계산, 데이터의 보존 등을 행한다.

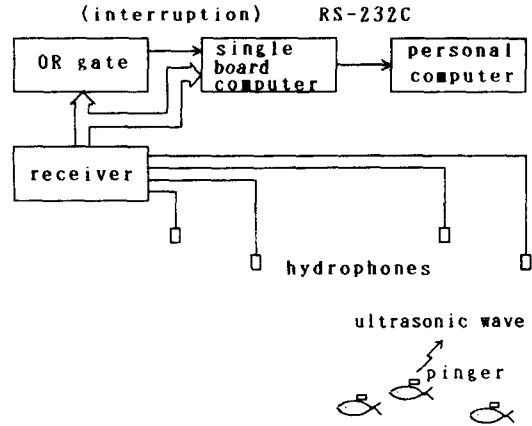


Fig. 1. Diagram of constructed system.

펄스성 잡음 요인으로 생각되는 연안에서의 생물(주로 새우류)에 의한 초음파 펄스는 대체로 그 폭이 3ms이하로 핑거의 펄스폭 15ms를 고려하면 충분히 제거될 수 있다고 판단된다. 그러나 펄스성 수중잡음이 적은 곳에서는 퍼스널 컴퓨터만으로도 신호 처리가 가능하였으나, 그렇지 않은 곳에서는 신호처리 특히 끼어들기 처리에 무리가 발생함이 확인되었다.

3. 핑거의 식별 및 혼신확률

단일주파수를 이용하는 복수개의 핑거의 식별은 핑거의 초음파 송신 주기 즉 펄스 주기를 달리하면 가능하다. 즉 핑거로부터 수신한 신호중에서 주기성이 인정되는 3개의 펄스를 검출하면 어떤 핑거로부터의 신호임을 확정(식별)할 수 있다. 이 핑거의 다음 펄스의 수신시간은 주기성이 있는지의 여부를 판단할 때 사용한 3개의 펄스중 최초의 펄스의 위상을 고려하면 예측 가능하므로 식별한 핑거의 펄스를 추적할 수 있다. 다른 핑거의 경우에도 같은 방법을 적용한다²⁾.

단일주파수를 이용하므로 혼신(펄스가 중복되어 수신되는 것)이 있다. 혼신된 펄스는 핑거의 식별 과정에는 이용이 가능하지만 위치를 계산할 때는 핑거별로 행하므로 어느

핑거로 부터의 신호인지 판단할 수 없어 위치계산할 수 없다. 이처럼 혼신을 일으키는 확률은 핑거의 수가 많고, 펄스 폭과 펄스신호의 입력처리시간이 길수록 크게 되고, 펄스 주기가 길수록 작게 된다. 본 연구에서와 같이 수신점(수파기)이 여러개 있을 경우에는 수파기간의 최대거리를 풀이 전달되는 시간만큼 수신을 계속하여야 하므로 이 시간도 펄스신호의 입력처리시간에 포함시켜야 한다.

이상의 각 변수를 본 연구에서 실제로 사용한 값을 기준하여 여러가지로 바꾸어가며 시뮬레이션한 결과를 Fig. 2에 나타낸다.

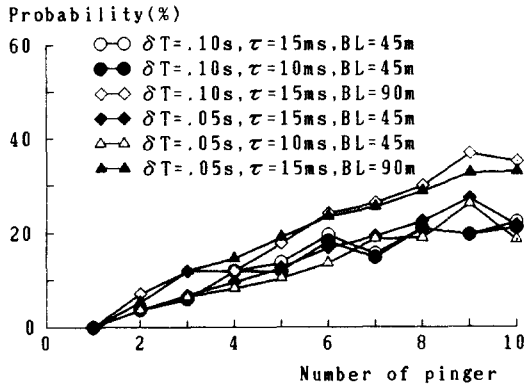


Fig. 2. Probabilities of pulse over lapping.

Fig. 2에서 펄스의 입력처리시간은 $33.3\mu s$ 이고, 펄스 폭 τ 는 $10ms$ 와 $15ms$ 이며, 수파기간의 최대거리 즉 基準線의 길이 BL은 $45m$ 와 $90m$ 로 하였다. 각 핑거의 펄스 주기의 증가분 σT 는 최초의 핑거의 펄스 주기를 $1.7sec$ 로 하여 핑거의 수에 따라 $0.10sec$ 와 $0.05sec$ 로 하였다. 혼신할 확률을 줄이기 위해서는, 수파기간 거리와 수신처리 시스템의 성능이 동일할 경우, 핑거별 펄스 주기의 증가폭을 줄이는 것이 바람직하며, 이것은 펄스 주기를 길게한 것과 같은 효과가 있다. 혼신 확률에 가장 크게 작용하는 것은 수신 입력처리에 소요되는 시간이므로 현장 조건에 따라 수파기간의 거리를 알맞게 할 필요

가 있다.

4. 핑거의 위치계산

쌍곡선을 이용하는 위치계산은 LORAN, DECCA, OMEGA 등을 이용하여 선박의 위치를 구하는데 많이 이용되고 있다. 선박의 경우는 3개 이상의 육상의 송신국에서 송신된 전파를 선박에 설치된 하나의 수신기로 전파의 도달 시간차 즉 受信時間差를 구하여 반복계산으로 선박의 평면 위치를 구한다. 핑거의 경우는 이 원리를 역으로 이용한다. 즉 하나의 핑거에서 초음파를 송신하면 3개의 수신점(수파기)에서 受信時間差를 구하여 선박의 경우와 마찬가지로 반복계산으로 핑거의 평면 위치를 계산한다.

4.1 입체 위치 계산

핑거의 위치를 입체적으로 계산하기 위해서는 일반적으로 심도센서(depth sensor)가 필요하다. 그러나 심도센서가 없는 경우에도 계산할 수 있다. 그것은 수파기를 동일 심도에 설치하고 4점에서 수신하는 것이다. 이 방법을 사용하면 반복계산할 필요없이 직접 解를 구할 수 있어 계산 속도는 빨라지나 위치계산 오차는 반복계산 보다 조금 크게되며, 특히 수신시간차가 거의 없는 基準線 중앙 부근에서는 위치의 解를 구할 수 없다는 단점이 있다.

수파기 사이의 受信時間差는 수중음의 전달속도를 $1,500m/s$ 로 일정하다고 보면 距離差로 나타낼 수 있다.

수파기는 $H_0(x_0, y_0, z_0)$ 와 $H_1(x_1, y_1, z_1)$, $H_2(x_2, y_2, z_2)$, $H_3(x_3, y_3, z_3)$ 로 배치되어 있고, 구하는 핑거의 위치는 $p(x, y, z)$ 이다. 수파기는 동일 심도에 설치한다. p 로부터 H_0, H_1, H_2, H_3 까지의 거리를 $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ 라 하면,

$$\rho_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2 \quad (i=0, 1, 2, 3) \quad (1)$$

이다. ρ_i 는 未知數이고, 기준수파기 H_0 에 대한 상대적 距離差 $f_i = \rho_i - \rho_0$ 는 관측치이다. 식 (1)로부터 $\rho_1 - \rho_0$, $\rho_2 - \rho_0$, $\rho_3 - \rho_0$ 를 구하여 정리하면

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ \rho_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & f_1 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & f_2 \\ x_3 - x_0 & y_3 - y_0 & f_3 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

단, $c_1 = (x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - f_1^2)/2$
 $c_2 = (x_2^2 - x_0^2 + y_2^2 - y_0^2 - f_2^2)/2$
 $c_3 = (x_3^2 - x_0^2 + y_3^2 - y_0^2 - f_3^2)/2$

로 되어 未知數 x, y, ρ_0 에 대하여 계산할 수 있다. 핑거의 심도 z 는 이들 x, y, ρ_0 를 식 (1)에 대입하면 구할 수 있다.

4.2 평면 위치계산

핑거의 위치를 평면으로 계산하는 경우는 2쌍의 距離差로서 위치계산이 가능하다. 본 연구에서 처럼 3쌍의 距離差를 얻을 수 있는 경우에는 3쌍의 距離差 중에서 精度가 높은 2쌍을 조합하거나 혹은 基準線의 延長線上的 문제 즉 解가 구해지지 않는 문제를 피할 수 있는 조합을 선택하여 다음과 같이 위치를 계산한다. 이 문제는 수파기의 수를 4개로 하고, 핑거로부터의 펄스신호의 受信順으로 3개의 수파기 좌표를 선택한 후, 受信順의 2번째 수파기를 주극으로 하면 해결할 수 있다.

평면위치를 구하는 것이므로 ρ_i 는 식(1)에서 z 항이 없는 것으로 되며, 거리차의 觀測值 $f_i = \rho_i - \rho_0$ 이다. 구하고자 하는 핑거의 위치 $p(x, y)$ 대신에 초기위치 $p_s(x_s, y_s)$ 를 대입하면 거리 ρ_{is} 와 距離差의 計算值 f_{is} 는

$$\rho_{is}^2 = (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2, \quad (i=0, 1, 2) \quad (3)$$

$$f_{is} = \rho_{is} - \rho_0, \quad (i=1, 2) \quad (4)$$

로 된다. 距離差의 觀測值와 計算值와의 差를 Δf_{is} 라 두면, $\Delta x, \Delta y$ 는

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \partial f_{1s}/\partial x & \partial f_{1s}/\partial y \\ \partial f_{2s}/\partial x & \partial f_{2s}/\partial y \end{pmatrix}^{-1}$$

$$\cdot \begin{pmatrix} \Delta f_{1s} \\ \Delta f_{2s} \end{pmatrix} \quad (5)$$

단, $\Delta f_{is} = f_i - f_{is}$

$$\partial f_{is}/\partial x = (x_s - x_i)/\rho_{is} + (x_s - x_i)/\rho_{0s}$$

$$\partial f_{is}/\partial y = (y_s - y_i)/\rho_{is} + (y_s - y_i)/\rho_{0s}$$

로 부터 구할 수 있다. 구하려는 핑거의 위치 x, y 는

$$x = x_s + \Delta x \quad (6)$$

$$y = y_s + \Delta y \quad (7)$$

이다. 식(5)의 $\Delta x, \Delta y$ 는 修正值이고, $\Delta x, \Delta y$ 의 絶對值가 微小하면 식(6), (7)로부터 x, y 를 구하여 계산을 종료한다. 그렇지 않으면 이 x, y 를 초기치로 하여 식(3)부터 다시 계산하여 $\Delta x, \Delta y$ 의 絶對值가 微小할 때까지 반복 계산한다. 이 반복 계산의 회수는 통상 3회 이내이다.

5. 供試魚

실험에 사용한 魚(일본명으로는 시마아지, *Caranx delicatissimus*, 체장 24cm)는 전갱이류에 속하나 體高가 비교적 높고 어체의 측면에 세로줄이 여러개 있는 어족으로서 高價로 판매되기 때문에 일본에서는 최근에 황금의 양식어종으로 각광을 받고 있다. 이 魚는 일본 큐우슈우의 나가사키현의 해안에 일부 분포하고 있으나 주로 고토(五島) 일대에 분

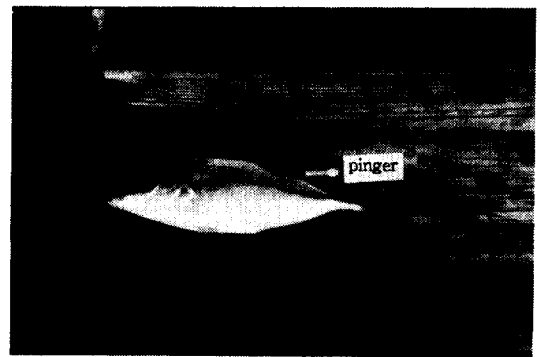


Fig. 3. Tagged fish(striped jack, 24cm of body length) with the small size pinger(φ8.5×L35mm).

포 서식하고 있는 난류성 어족이다. 부화후 2년 정도에 체장 30cm 크기의 성어로 된다. 供試魚는 日本栽培漁業協會(Fisheries Agency and Japan Sea-Farming Association; FAJSFA) 五島事業所에서 부화, 양식하여 방류한 것으로 Fig. 3에 나타낸다. 등지느러미 뒷부분에 매달린 것이 초음파 펄스를 송신하는 소형 핑거이다.

6. 추적 실험

Fig. 4는 실험 해역을 나타낸 것이다. 실험 해역은 일본 큐우슈우의 고토 섬내에 있는 누노우라灣으로 灣내에는 축양조(6m×6m, 그물 깊이 5m)가 부설되어 군을 이루고 있으며, 축양조군이 부설되어 있는 곳은 수심 25m 전후이다. 저질은 沙泥로 되어 있으며 측정 당시의 주간 평균 표층 수온은 28℃ 정도이었다. 해수 투명도도 양호한 편으로

지름 10cm의 흰색 스티로폴 구를 수면으로부터 10m 정도 내렸을 때도 육안으로 구의 형태를 확인할 수 있었다. 축양조군의 주위 표층에는 실험하기 약 6개월 전에 플라스틱 표지를 부착시켜 방류한 供試魚가 자연 서식하고 있다.

수파기는 灣입구쪽의 축양조위에 36m×26m의 간격으로 직각으로 배치하였으며, 심도 1m층에 현수한다. 수파기간의 거리 측정에는 줄자를 이용하였다. 수신기 및 랩탑형 퍼스널 컴퓨터는 우천시에도 측정이 가능하도록 대형 플라스틱 박스에 수용한다. 축양조에는 자동 給餌機를 위한 AC 100V의 전원이 공급되고 있으므로 수신처리장치의 전원 문제는 해결할 수 있다.

핑거는 魚를 방류하기 30분전에 전원 스위치용의 두개의 리드선을 꼬아서 납땀한 후에 폭시 수지로 납땀 부분을 방수처리한다.

供試魚는 현장의 축양조 부근에서 낚았으며, 魚에 대한 자극을 줄이기 위하여 등지느러미에 앵커(anchor)형 플라스틱 표지가 붙어있는 魚를 선택하였다. 소형 핑거를 부착시킬 때는 綿絲를 이용하여 핑거를 앵커형 표지에 매단다. 핑거를 부착시키는데 소요되는 시간은 수 초 이내이며 핑거를 부착한 供試魚는 즉시 방류하였다.

핑거를 供試魚에 부착시킬 때, 고찰에서 기술하는 예비실험의 결과에 근거하여 綿絲의 길이를 극히 짧게 하였다. 이렇게 함으로써 핑거의 요동을 줄일 수 있고, 魚의 유영에 대한 영향을 줄일 수 있었다. 방류한 供試魚의 위치 표시가 순조롭게 행하여 짐을 확인한 후 계속하여 다음 핑거를 같은 방법으로 부착하여 방류한다.

결 과

供試魚의 游泳행동을 분석할 때 해중 잡음 등의 영향으로 펄스성 잡음이 섞인 데이터도

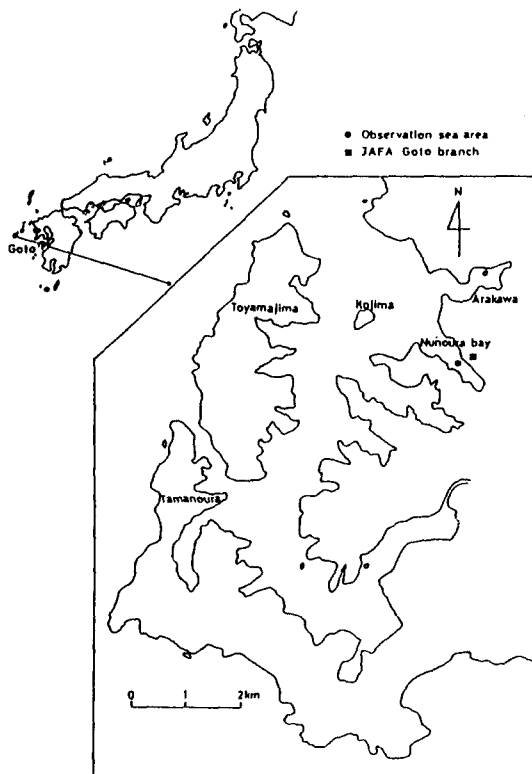


Fig. 4. Showing observation sea area.

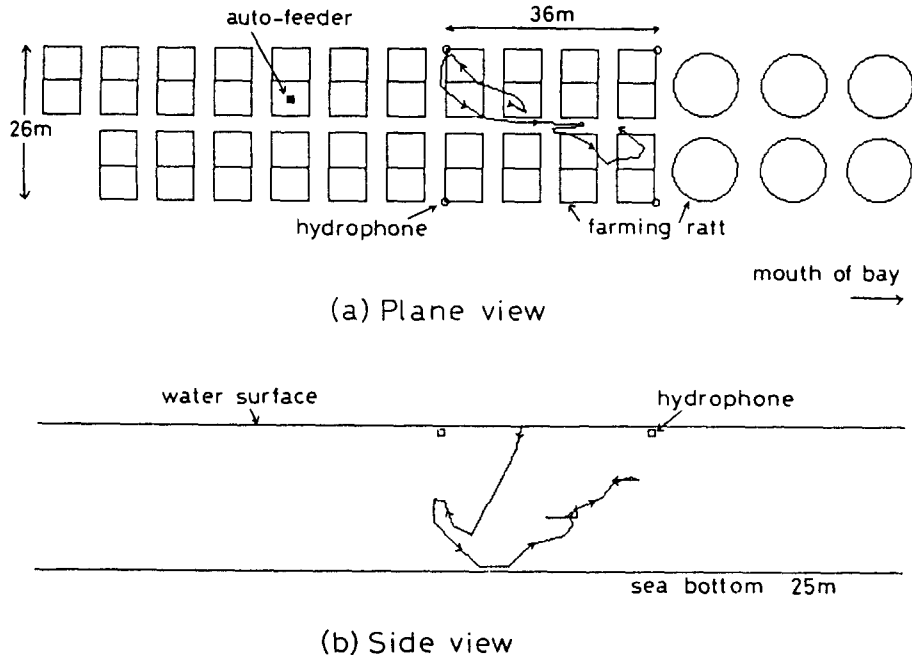


Fig. 5. Behavior of a fish right after release.

있었다. 이러한 비정상적인 데이터는 속도 필터($V_{max}=1.0m/s$)를 이용하여 삭제하고 供試魚의 위치의 기점은 식별된 핑거별로 행하였다. 유영속도는 앞서의 정상적인 데이터의 좌표와 다음 데이터의 좌표로부터 2점간의 거리를 구하고 2점간의 경과시간으로 나누어 구한다.

1. 방류직후의 유영행동

魚에 핑거를 부착시켜 방류하였을 때 방류 직후 수10초간은 수면 가까이로 유영하였으나 곧 目視觀測은 할 수 없게 되었다. 방류 초기의 魚의 유영행동을 Fig. 5에 나타낸다.

Fig. 5에 있어서 위쪽 그림은 평면도로, 아래쪽 그림은 측면도로 나타낸 것이다. 평면도에서 큰 사각형 및 큰 원으로 나타낸 것은 축양조이고, 실선으로 나타낸 곡선은 魚의 유영 궤적이며 유영 궤적에서의 화살 방향은 이동 방향이다. 측면도를 보면 알 수 있듯이 魚가 급히 잠수하여 아래쪽으로 도피하는 행

동을 보이는데 이것은 표층이나 중층 어족이 위협을 느꼈을 때 깊은 곳으로 도피하는 전형적인 행동을 나타낸 것이라고 볼 수 있다.

2. 3尾 각각의 유영행동

핑거를 부착한 3尾의 魚의 행동을 Fig. 6에 나타낸다.

Fig. 6에 있어서 방류후 24시간 이상 경과한 후의 3尾의 魚는 핑거를 부착하지 않은 同魚種의 별개의 작은 무리속에 섞여 유영하였다. 2尾 이상이 같은 무리에서 유영할 때도 있지만 전반적으로 보아서는 각각 흩어져 별개의 무리에서 유영하는 경우가 많다. 同 그림은 일련의 데이터로부터 15분간의 데이터를 발췌하여 기점한 것이다.

이러한 유영행동으로부터 판단하면 제한되지 않은 수역에서 複數의 魚를 동시에 추적하는 것은 상당히 어려울 것으로 생각된다.

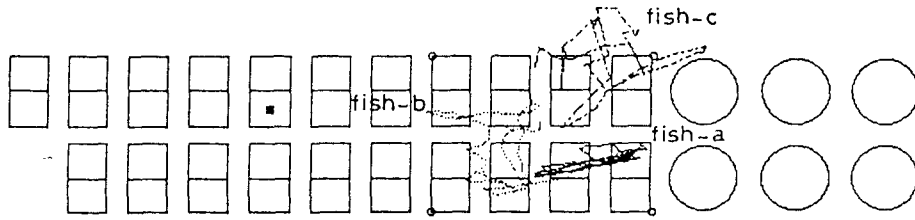
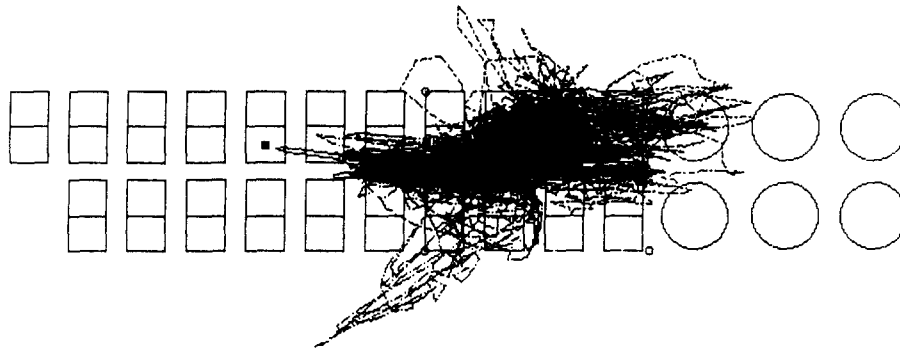
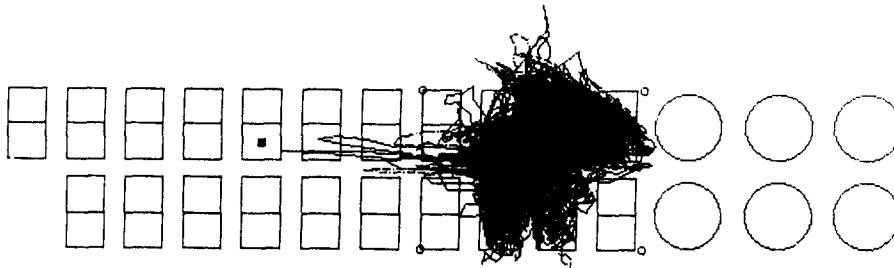


Fig. 6. Individual behavior of three fish.



(a)



(b)

Fig. 7. Behavior of three fish in the day time(a) and in the night time(b).

3. 游泳 행동 범위

3尾의 魚의 주야간 행동을 Fig. 7에 나타낸다.

Fig.7에서 (a)는 주간행동을, (b)는 야간의 游泳행동을 나타낸 것이다. 여기서는 06:00-18:00 사이를 주간으로 하고 나머지 시간대는 야간으로 처리하였다. 魚는 주간에는 축양조군의 긴 변의 중앙을 따라 왕복하는 횡방향의 운동이 활발하였고, 대부분

목시관측이 가능한 표층에서 游泳하였다. 이러한 游泳행동을 보이는 것은 학습에 기인한 행동으로 생각된다. 왜냐하면 再捕되어 핑거를 달고 재방류되기 전까지는 축양조내의 양식어를 위한 사료의 일부를 섭취하였을 것이기 때문이다. 야간에는 주간에 비하여 수평적 游泳범위는 좁고 아울러 표층에서의 游泳이 관측되지 않음으로 미루어 수직적인 游泳 활동이 활발하였을 것으로 생각된다.

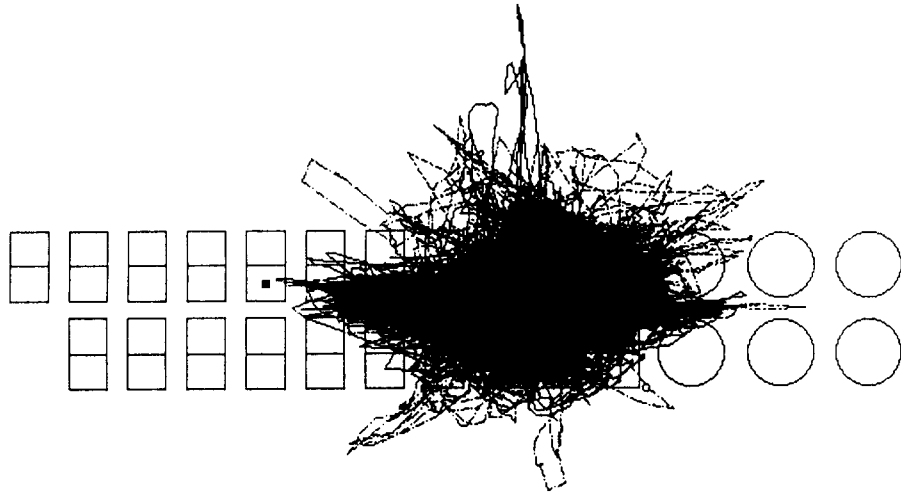


Fig. 8. Track of three fish during one week.

1주일 동안의 유영범위를 나타내면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 이 어종은 방류 후에도 지금까지 자라오면서 먹이를 섭취하였던 축양조의 부근 혹은 그 하부에 머물고 있음을 알 수 있다. 이것은 양식 대상 어종의 선정에 따라서는 어떠한 灣 혹은 수역을 천연의 축양조로 사용할 수 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

4. 유영속도 및 분포

처음 방류한 供試魚의 유영속도 변화의 일례를 Fig.9에 나타낸다.

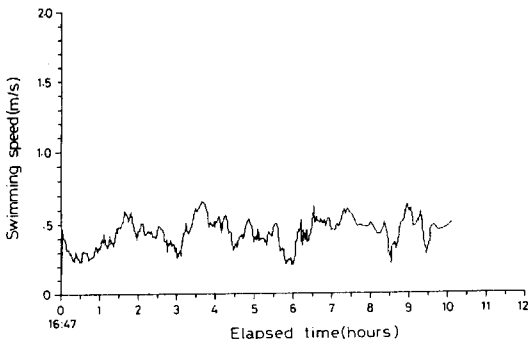


Fig. 9. Swimming speeds of a fish in accordance with the time elapsed.

Fig.9에 있어서 魚의 유영속도는 1분간마다 평균하여 구한 것이다. 이것은 16:47분부터 기록된 데이터이므로 그 시간에 경과시간을 더하면 측정당시의 시간으로 된다.

同 데이터로부터 유영속도의 빈도를 구한 결과를 Fig. 10에 나타낸다.

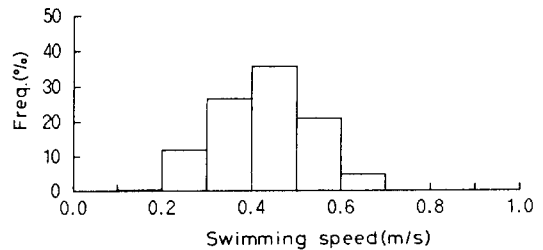


Fig. 10. Distribution characteristics of swimming speed of a fish.

Fig. 10에 대하여 유영속도의 빈도는 0.2 m/s 미만이 0.3%이고, 0.2~0.3m/s가 12.0%, 0.3~0.4m/s가 26.6%, 0.4~0.5m/s가 35.7% 0.5~0.6m/s가 20.9%, 0.6m/s 이상이 4.6% 이었다. 유영속도의 빈도에서 0.3m/s~0.5m/s가 전체 빈도의 80% 이상을 차지하였다.

1주간 연속하여 측정한 데이터로부터 3尾

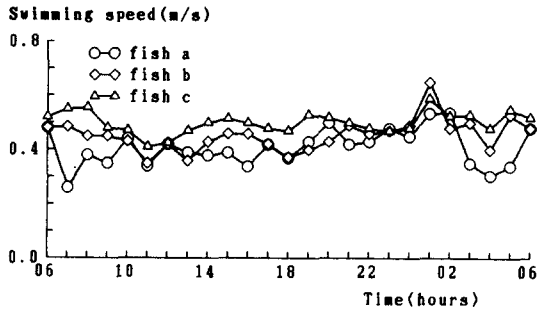


Fig. 11. One hour average swimming speed characteristics of three fish for one week.

의 각각의 유영속도 구하여 그 결과를 나타낸 것이 Fig. 11이다.

Fig. 11에 있어서 1주간의 供試魚의 평균 유영속도는 처음 방류한 것이 $0.43m/s$, 두 번째 및 세 번째가 $0.46m/s$ 및 $0.51m/s$ 로써 어체장의 약 2배의 빠르기를 나타내었다. 주간 및 야간의 유영속도는 $0.44m/s$ 및 $0.48m/s$ 로써 야간의 유영속도가 주간 보다 약간 빠른 것으로 나타났다.

이러한 유영속도는 타 연구자들의 체장 대비 유영속도 보다 빠른 것을 나타냈다. 이것은 다른 연구자들의 경우는 魚의 위치를 추적하는 선박의 위치로 대응하였기 때문이든가 아니면 위치측정이 초 단위의 간격으로 행하여지지 않았음에 기인하는 것으로 생각된다.

혹자는 바이오텔레메트리에 의한 魚의 유영속도가 실제 보다 과소 평가될 우려가 있음을 지적하고 속도센서의 사용 필요성을 언급한 바 있다¹⁾. 본 실험에서 사용한 것과 거의 같은 크기의 모의 핑거를 魚에 부착하여 회류수조(swimming tunnel, $\phi 300 \times L1800mm$) 속에서 행한 연구³⁾에서는 이 연구에서 측정된 魚의 유영속도와 유사한 결과가 발표되어 있다.

고 찰

1. 핑거의 부착법의 검토

핑거를 이용하여 魚의 유영행동을 조사할 때 바람직한 핑거의 부착법은 魚가 자연상태에 가깝게 유영할 수 있도록 하는 것이다. 핑거의 부착 방법에도 핑거의 형태 및 크기에 따라 여러가지가 있다. 그 방법은 크게 나누어 胃內挿入式(혹은 삼키게 하는 방식), 背負食(魚의 등에 짊어지게 하는 방식 혹은 집게의 형태로 집는 방식), 曳抗式(실로 매다는 방식)의 3가지로 나눌 수 있다.

胃內挿入式은 막대기등으로 魚의 입으로부터 핑거를 胃의 내부에 밀어 넣는 방법이다. 이 방법은 魚의 체온등의 측정에 적합하지만 소형어의 경우는 실험 도중에 핑거를 토해 내는 경우가 많다. 背負式은 魚의 등지느러미 부근에 플라스틱 밴드등을 이용하여 핑거의 전후를 고정하는 방법을 말하며 低棲魚類에 자주 이용된다. 曳抗式은 하나의 가는 실을 이용하여 핑거를 예hang시키는 방법이다. 이것은 핑거의 부착에 걸리는 시간이나 번거로움이 胃內挿入式이나 背負式보다 적고 용이하며, 대형어나 소형어에 사용할 수 있는 방법이다^{4,5)}.

핑거의 부착법에 대해서는 1990년 3월 18일부터 3월 22일 사이에 같은 해역에서 모의 핑거를 이용하여 부착 방법을 검토하기 위한 예비 실험을 행하였다. 모의 핑거의 크기와 수중중량은 본 실험에 사용한 핑거와 크기 및 수중중량을 같게한 것이다. 供試魚의 등부위에는 앵커형 플라스틱 표지가 붙어 있었다. 그 앵커형 표지에 綿絲로 모의 핑거를 부착하였다. 曳抗絲의 길이는 $1cm \sim 10cm$ 로 하였다. 핑거를 부착시킨 供試魚와 부착시키

지 않은 것과의 유영상태를 관찰한 결과, 실의 길이를 되도록 짧게한 것이 길게한 것 보다 자연상태에 가까운 유영행동을 보였다.

2. 펄스 신호의 전파에 대한 그물의 영향

수파기는 10Hz~100kHz의 무지향성 표준 수파기로서 수파 감도는 -220dB (1V/μPa)이다. 축양조의 그물을 통과할 때의 전파손실은 수파기와 핑거를 심도 3.5m에 설치하여 핑거의 펄스신호가 그물을 통과하도록 하였다. 망목의 크기는 약 50mm~100mm이다. 핑거와 수파기 사이의 거리에 따라 핑거의 펄스신호가 통과하는 그물의 매수는 9.5m에서 2매, 18.8m에서 4매, 27.5m에서 6매, 36.7m에서 8매, 45.8m에서 10매, 55m에서 12매이다. 핑거와 수파기 사이의 거리는 줄자로 측정하였다. 그물을 통과하지 않을 경우는 수파기와 핑거를 심도 15m에 내려 수파기와 핑거 사이의 거리를 같은 방법으로 변화시켜 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 12에 나타낸다.

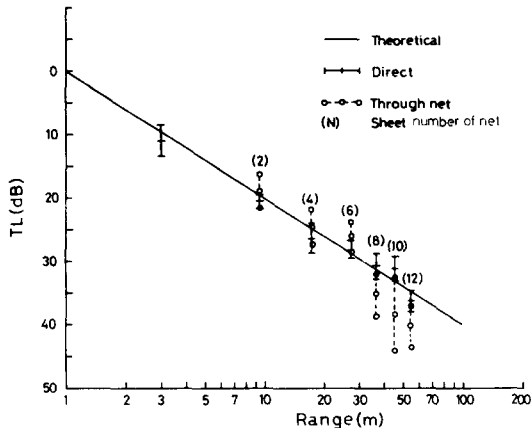


Fig. 12. Measured transmission loss with nets and without nets.

Fig. 12에 대하여 측정치는 거리 및 심도별로 12회씩 측정하여 평균치와 표준편차를 계산하여 나타낸 것이다. 핑거의 펄스신호가 6

매의 그물을 통과하기까지는 그물에 의한 신호의 감쇄가 거의 나타나지 않았고, 6매보다 많은 경우에는 약 5dB 정도 감쇄하였다.

3. 신호 및 수중잡음

실험해역의 수중잡음 및 핑거로부터의 신호의 측정은 수신처리 시스템에서 언급한 수파기 및 수신기를 사용하여 행하였다. 핑거로부터의 펄스신호 및 수중잡음을 측정하여 그 일례를 Fig. 13에 나타낸다.

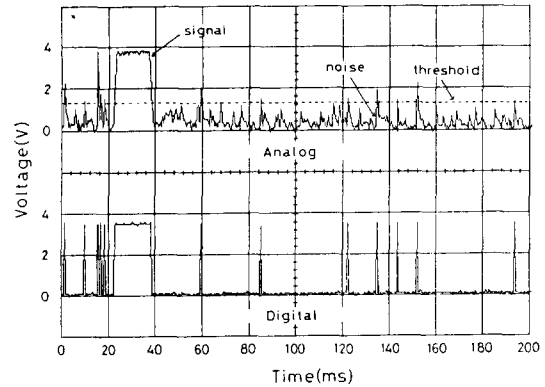


Fig. 13. Measured signal consisting of a pinger and pulse noise in the field.

Fig. 13에서 위쪽에는 아날로그 신호를, 아래쪽에는 디지털 신호를 나타내었다. 아날로그 신호에서 가로축 점선은 아날로그를 디지털로 바꾸어 주는 域值(threshold level)이다. 펄스성 수중잡음 가운데는 비교적 약한 것도 있으나 대부분이 신호 크기의 1/3정도의 강한 잡음이다. 핑거로부터의 신호는 핑거와 수파기간의 거리를 25m 정도로 하였을 경우의 것이다.

펄스성 잡음의 영향을 줄이기 위해서는 域值를 크게 하면 되지만 域值를 크게 할 수록 펄스의 일어섬이 나빠져 測位精度는 떨어진다. 수신기의 이득을 낮추는 경우는 신호의 크기도 약하게 되어 수신되지 않는 경우가

발생하기 쉬우며 또한 펄스의 일어섬도 나빠진다. 따라서 이러한 원격측정에서는 수신기 자체에서 펄스성 잡음을 제거하는 것이 현재로서는 가장 바람직한 방법이라고 생각된다.

4. 測位誤差 분포

위치측정에서의 오차 분포를 시뮬레이션을 통하여 구한 것이 Fig. 14, Fig. 15 이다. 수신입력처리 시간과 수신기 사이의 거리는 본 실험에서 사용한 값과 같다. 쌍곡선 위치결정법에 의거 위치를 계산할 때 주국은 항상受信順의 2번째 수신점으로 하였다.

Fig. 14는 식 (1)~(2)를 이용하여 입체적으로 위치의 오차 분포를 구한것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 受信時間差가 없는 곳에서는 위치를 계산할 수 없다. 同 그림의 (a)는 심도 z를 해저의 수심과 같은 25m로 하였을 때의 평면도를, 同 그림의 (b)는 그림 (a)에서의 1점쇄선에서 잘랐을 때의 측면

도를 나타낸 것이다.

Fig. 15는 식 (3)~(7)을 이용하여 평면적으로 구한 것이다. 일반적으로 2쌍의 受信時間差 밖에 얻을 수 없을 때에는 주국의 기준선의 연장선상에서 위치의 해가 구해지지 않는 영역이 존재하지만, 3쌍의 受信時間差가 얻어질 경우에는 이 문제를 해결하고 測位誤차를 줄일 수 있다.

5. 수신점 좌표의 결정

어떤 음원으로 부터의 신호를 수신하여 그 음원의 위치를 측정하는 경우 수신점 위치의 정확도가 음원의 測位精度에 크게 관계한다. 본 연구와 같이 축양조群 위에 수신점을 설치하는 경우는 출자등으로 수신점간의 거리를 재면 간단히 수신점의 좌표를 구할 수 있으나 해상의 부표나 해저에 설치할 경우에는 다른 방법을 생각하지 않으면 안된다. 이러한 경우는 하나의 수신점에서 어떠한 펄스

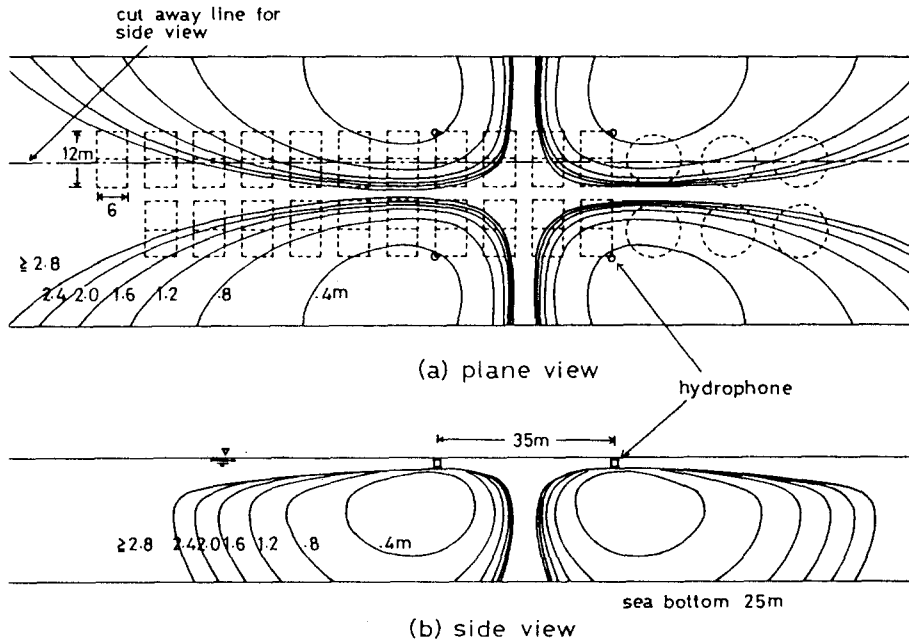


Fig. 14. Distribution of 3-D positioning error by direct solution. Master is 1st hydrophone of receiving order.

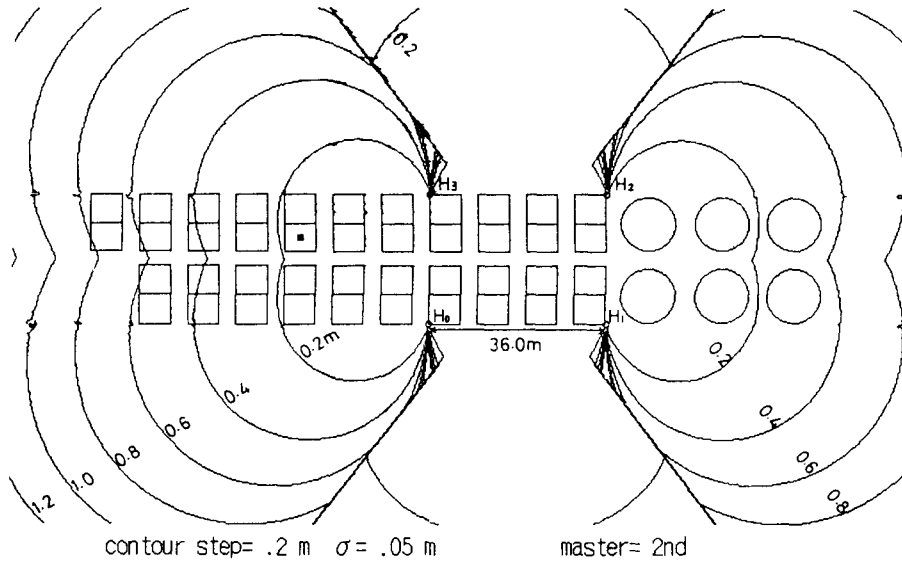


Fig. 15. Distribution of 2-D positioning error by hyperbolic method. Master is 2nd hydrophone of receiving order.

신호를 송신하게 하고 나머지 수신점에서 수신하면 송신점의 위치를 알수 있고, 이와 같은 방법을 수신점별로 행하면 각 수신점의 상대적인 좌표를 구하는 것이 가능하다.

요 약

1990년 8월 누노우라灣에서 체장 24m의 시마아지(*Caranx delicatissimus*)의 유영행동을 초음파 핑거를 이용하여 원격측정하였다. 실험에 사용한 시마아지는 日本栽培漁業協會 五島事業所에서 실험하기 약 6개월 전에 방류한 것으로灣내의 축양조 군의 부근에서 자연 서식하고 있다. 본 연구에서는 방류 후 만내에 머물고 있는 시마아지의 유영행동을 파악하고자 함에 목적을 두고 있다. 수파기의 배치는 LBL 방식으로 하고, 핑거의 위치는 쌍곡선 위치결정법으로 계산한다. 각각의 핑거의 식별은 펄스 주기와 位相의 차를 이용하는 소위 時分割方式으로 행한다. 핑거의 주기는 1.7, 1.8, 1.9sec이고, 펄스 폭은

모두 15ms이며, 핑거의 전지 수명은 약 7일이다. 본 연구에서는 싱글보드 컴퓨터와 퍼스널 컴퓨터를 병용함으로써 수중 펄스성 잡음이 많은 곳에서도 소형 초음파 핑거($\phi 8, 5 \times L35mm, 140dB \text{ re } 1\mu Pa \text{ at } 1m, 69 kHz$)를 부착시킨 3마리의 시마아지의 1주일 동안의 유영행동을 성공적으로 식별하여 추적할 수 있었다. 방류직후의 핑거를 부착한 供試魚는 해저까지 일단 도파하는 모양을 나타내었으며, 같은 群에서 유영하기 보다는 서로 다른 小群에서 유영하는 것이 많았고, 주간의 유영행동이 야간보다 넓은 범위에 걸쳐 활발히 움직임을 관측할 수 있었다. 1주일간의 관측으로 부터 알 수 있는 供試魚 잔류 범위는 대체로 축양조 군의 부근이거나 그 하부 이었고, 3마리 魚의 평균 유영 속도는 체장의 약 2배 이었다.

감사의 글

이 연구의 일부는 부산수산대학교 해양산

업개발연구소(소장 조규대 교수)의 지원으로 이루어 졌다. 본 연구 수행에 물심 양면으로 도움을 준 日本栽培漁業協會 五島事業所 Y. Mizuda 소장이하 여러 직원들께, 또한 조언과 기술적인 지도를 아끼지 않으신 東京水産大學의 E. Hamada 박사께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 1) 添田秀男編(1990) : 텔레메트리による水生動物의 行動解析(水産學シリーズ 80), 恒星社厚生閣, 東京, 31-65.
- 2) Shin, H.O., E.Hamada and S.Hiroshi (1990) : Distinction and tracking of multiple pingers using a single frequency. Bull. Korean Fish. Tec. Soc., 26(4), 360-364.
- 3) McCleave, J.D. and K.A. Stred(1975) : Effect of dummy telemetry transmitters on stamina of Atlantic salmon(*Salmo salar*) smolts. J. Fish. Res. Board Can., 32(4), 559-563.
- 4) 鈴木克美(1977) : 海産漁に對する超音波標識의 装着, 海洋科學 12號.
- 5) 市原忠義(1974) : 海洋生物텔레메트리, 海洋科學 2月號.