

스캐닝 소너에 의한 어군량 추정에 있어서 어군의 기하학적 파라미터의 이용

李遺元 · 向井徹* · 飯田浩二* · 辛亨鎰

釜慶大學校, *北海道大學大學院水産科學研究科
(2002년 4월 22일 접수)

Use of Geographical Parameters of Fish School in the Estimation of Fish School Abundance Using Scanning Sonar

Yoo-Won LEE, Tohru MUKAI*, Kohji IIDA* and Hyeong-Il SHIN

Pukyong National University, *Hokkaido University
(Received April 22, 2002)

Abstract

The object of this study was to find out the probability of the abundance estimation by geographical parameters of fish school during the acoustic survey using scanning sonar. The acoustic survey was carried out in Funka Bay, off southern Hokkaido, Japan in December 1998. The 180-degree scanning sonar and the echo sounder were used simultaneously. The relationship was examined between geographical parameters (fish school area and volume) measured by sonar and area backscattering coefficient by the echo sounder. The obtained result showed positive correlation. Therefore, the use of geographical parameters of fish school is a useful method in estimating fish school abundance in the acoustic survey using sonar.

서론

음향을 이용한 자원량 조사는 넓은 수역을 단시간에 효율적으로 조사 가능한 직접적 방법으로 주목받고 있다. 일반적으로 음향에 의한 자원량 추정에는 계량어군탐지기가 이용되고 있으나, 통상의 계량어군탐지기는 수직 빔을 이용하고 있어 표층의 탐지범위가 좁고, 어군의 도피행동이나 해면 부근에 데드 존(dead zone)이 존재한다. 이와 같은 결점을 극복하기 위하여 표층을 광범위하게 탐지할 수 있는 소너를 이용한 자원량 추정법의 개발이 행해지고 있다.

소너를 이용한 어군량 추정에 관한 연구로서 McClendon¹⁾은 echo 계수법에 의해 다량어 어군의 시간대별 발견 어군 수를 조사하였고, Hewitt et al.와 Misund et al.는 소너 화면상의 어군면

적을 누적하여 누적된 어군면적을 어군량 변환계수를 이용하여 어군량을 추정하는 방법을 정립하고, 어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 추정법의 가능성을 시사했다^{2, 5)}. 또 Lee et al.은 스캐닝 소너를 이용한 어군량 조사에 있어서 음향 적분법의 사용가능성에 대하여 검토하였다⁶⁾.

소너를 이용한 어군량 추정법에서 echo 계수법은 어군 계수에 개인차가 생기고, 규모가 상이한 단체어군의 조사에서는 추정량에 큰 오차가 생길 우려가 있다. 또한 음향 적분법은 대상 어종 이외의 음향반사나 잡음 등의 영향을 받기 쉬운 것과 빔에 대한 대상어의 방향에 따른 반사강도(target strength)의 변동이 크고, 이 변동에 의하여 어군량의 추정이 크게 좌우된다는 단점이 있다. 어군의 기하학적 파라미터를 이용하는 방법은 기하학적 파라미터를 측정할 수 있는 일정 크기

의 어군에 한하여 적용 가능하며, 또한 측정치를 어군량으로 변환하기 위해서는 어군량 변환계수를 구하지 않으면 안된다. 이와 같이 소너를 이용하여 어군량을 추정하기 위한 추정법은 선결해야 할 몇 가지 문제점이 남아 있으므로, 아직까지 실험단계에 있다.

따라서 본 논문은 어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 추정에 대한 기초적 연구로서, 소너와 계량어군탐지기를 동시에 사용하여 소너 영상으로부터는 어군의 기하학적 파라미터, 면적 및 체적을, 또한 계량어군탐지기로부터는 동일 어군의 면적후방산란계수를 각각 측정하고, 이들의 관계를 비교, 분석함과 동시에 어군의 기하학적 파라미터에 의한 어군량 추정법에 대하여 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험방법

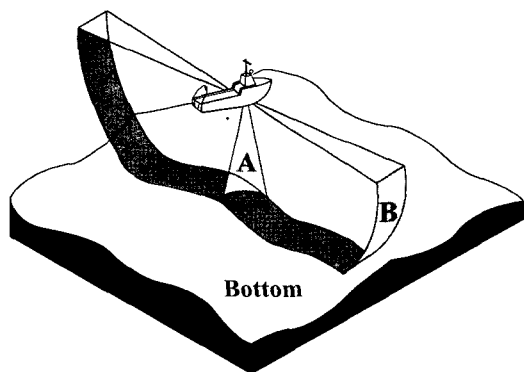


Fig. 1. Schematic diagram of (A) echo sounder and (B) 180-degree type scanning sonar at 90-degree tilt angle.

음향조사는 1998년 12월, 북해도 噴火灣에서, 북해도대학 수산학부 연구조사선 Ushio Maru (G/T, 128)을 이용하였다. 사용한 소너는 180° 형 스캐닝 소너(KCH-1827, Kaijo Co.)로 송신주파수는 164 kHz, 송신 빔 폭은 180° × 8°, 수신 빔 폭은 8° × 8° 이다. 소너의 부각은 어군의 체적을 측정하기 용이하도록 90° 로 설정하고, 조사해역의 최대 수심을 고려하여 탐지범위를 150 m 로 설정했다. 소너의 부각을 90° 로 설정했을 때의 자선, 소너 및 계량어군탐지기의 탐지범위와

해저와의 관계를 Fig. 1에 나타내었다. 조사는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 만의 입구를 9kont로 항주하며 음향 데이터를 수록했다. 항주 중 소너 화면에는 echo 전압에 따라 16색으로 나누어져 어군영상 등이 PPI 스크opf 상에 표시된다. 이것을 비디오 스캔 컨버터 (XVG-1V, Micomsoft Co.)를 통하여 NTSC 비디오 신호로 변환 후, 비디오 테이프 레코더에 녹화하여 해석에 사용했다.

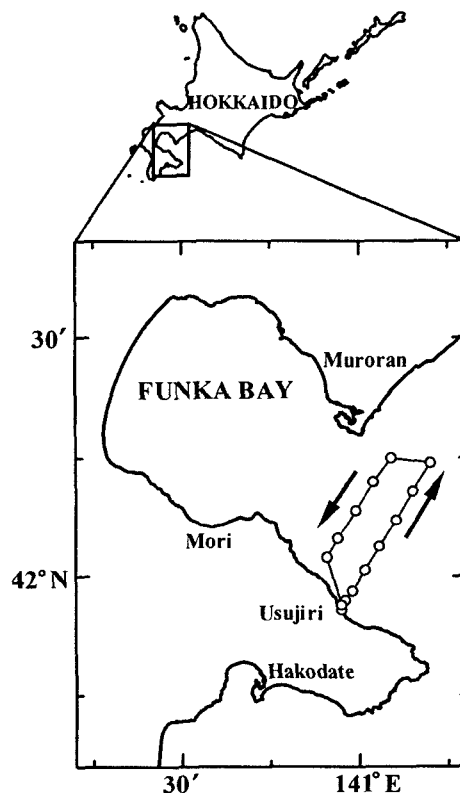


Fig. 2. Location of survey area.

한편 계량어군탐지기 (KFC-200, Kaijo Co.)의 데이터 수집에는 주파수가 25 kHz의 저주파와 100 kHz의 고주파를 사용하였으며, 이들의 지향성 빔 폭은 각각 7° 및 5° 인 선저 장착형 송수파기를 사용하였다. 데이터는 PCM프로세서를 통하여 비디오 레코더에 수록하였다. 그 후 연구실에서 재생하여, 깊이 1 m, 시간 10 초마다의 평균 체적후방산란강도 (이하 SV라 한다)를 GPIB를 통하여 컴퓨터 (PC-9801, NEC Co.)의 하드웨어에 수록하였다. 또 고주파의 계량어군탐지기의 데이터에는 조류계에 의한 잡음이 혼입되어 있었던

관계로, 25 kHz의 저주파 SV 데이터만을 사용하였다.

2. 해석방법

해석에 이용한 어군은 먼저 계량어군탐지기의 비디오 테이프를 재생하면서 육안으로 진행방향과 깊이방향으로 단체로 식별된 어군에 대하여, 대상어군의 평균 SV를 구하고, 어군의 높이를 곱하여 단위 면적하의 수주에 대한 평균면적후방산란계수 S_a 를 구했다. 이 값을, 1평방 해리 당에 대한 면적후방산란계수 (S_A)로 변환하기 위해, S_a 에 $4\pi 1852^2$ 을 곱하여 $S_A(m^2/NM^2)$ 로 하였다.

소너 화상을 이용한 어군의 기하학적 파라미터를 측정하기 위하여 소너 동화상을 화상처리 소프트웨어 (Cosmos32, Library inc. Co.)를 이용하여 8비트 컬러 정지화면 (1frame/s)으로 변환하여 컴퓨터에 저장했다. 해석에 이용한 어군의 일례는 Fig. 3과 같다.

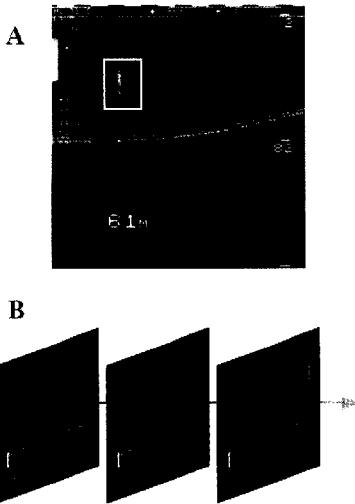


Fig. 3. An example of echogram of the fish school by echo sounder (A) and images of the fish school by scanning sonar at 90-degree tilt angle (B).

Fig. 3A의 계량어군탐지기의 echogram 상에서 사각으로 표시한 어군을 1초 간격의 소너 화상으로 관찰하면 Fig. 3B와 같이 표시된다. 소너 화상 위에 표시된 어군면적에는 수평 빔 폭에 기인하는 방위분해능과 펄스 폭에 기인하는 거리분해능

에 의한 오차가 포함되어 있다. 따라서 결보기의 어군의 방위방향 길이 및 거리방향 길이를 다음의 식을 이용하여 보정할 필요가 있다.^{7,8)}

$$CW = CW' - \Delta CW \dots\dots\dots(1)$$

$$= CW' - \left(2R \tan \frac{\phi}{2}\right)$$

$$LW = LW' - \Delta LW \dots\dots\dots(2)$$

$$= LW' - \left(\frac{c\tau}{2}\right)$$

여기서 ΔCW 는 어군의 방위방향 길이에 포함되어 있는 오차, CW' 는 결보기의 어군의 방위방향 길이, CW 는 수평 빔 폭에 의한 오차를 보정한 어군의 방위방향 길이, R 은 자선으로부터 어군중심까지의 거리, ϕ 는 소너의 수평 빔 폭이다. 또 ΔLW 는 어군의 거리방향 길이에 포함되어 있는 오차, LW' 는 결보기의 어군의 거리방향 길이, LW 는 펄스 폭에 의한 오차를 보정한 어군의 거리방향 길이, c 는 수중음속, τ 는 펄스 폭이다.

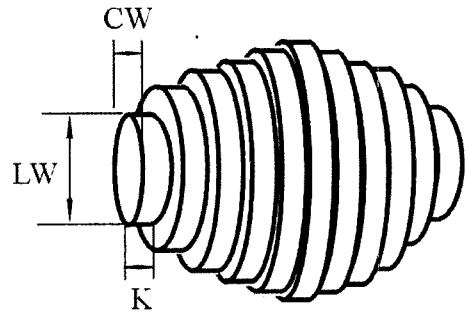


Fig. 4. Calculation method of fish school volume by scanning sonar.

CW : Actual crosswise extent,
 LW : Actual lengthwise extent,
 k : Coefficient by cruising distance.

보정한 어군의 방위방향 길이 CW 및 거리방향 길이 LW 를 이용하여 어군형상을 타원에 근사시켜 (3)식에 의해 어군면적 S_F 를 구했다.^{3,5)}

$$S_F = \frac{\pi}{4} CW \cdot LW \dots\dots\dots(3)$$

또한 소너에 표시되는 어군면적은 한 개의 어군

에서도 많은 어군면적이 구해지므로, 그 어군의 어군량을 나타내는 어군면적을 구할 필요가 있다.

어군체적 V_F 는 1초마다의 보정된 어군면적을 이용하여 (4)식과 같이 구할 수 있는데, 그 개념도는 Fig. 4와 같다.

$$V_F = k \sum_{i=1}^N S_F \dots\dots\dots(4)$$

$$= k \sum_{i=1}^N \frac{\pi}{4} CW \cdot LW$$

여기서 k 는 1펄스당 자선의 항주거리이다.

이와 같이 동일 단체어군을 계량어군탐지기와 소너를 동시에 사용하여 소너 화상으로부터 측정 한 어군의 기하학적 파라미터와 계량어군탐지기로 측정 한 면적후방산란계수와와의 관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

본 조사에서는 총 36개의 어군면적과 면적후방산란계수를 측정하였다. 어군면적은 어군이 탐지되어 소실될 때까지 1초 간격으로 어군면적을 평균하여 구하였다. 어군면적의 범위는 0.02~915 m^2 , 그 평균은 72 m^2 , 표준편차는 161 m^2 이었다.

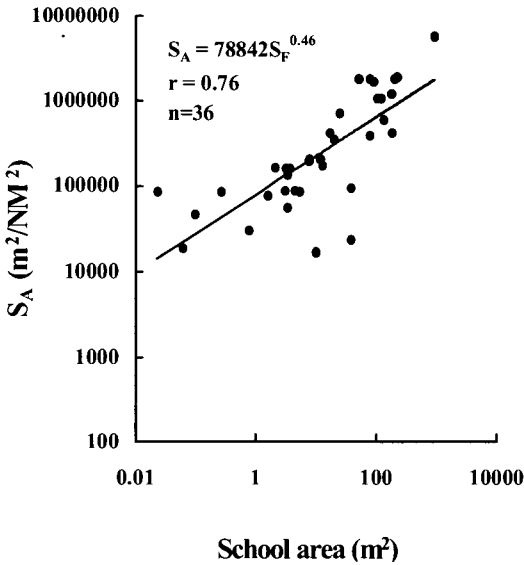


Fig. 5. Relationship between area backscattering coefficient (S_A) and school area (S_F) measured by sonar.

또 면적후방산란계수의 범위는 16,881~5,713,134 m^2/NM^2 , 평균은 643,937 m^2/NM^2 , 표준편차는 1,063,271 m^2/NM^2 이었다. 어군면적과 면적후방산란계수와와의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 어군면적과 면적후방산란계수와와의 상관계수는 0.76으로 정의 상관을 나타내었고, 면적후방산란계수 (S_A)와 어군면적 (S_F)사이에는 $S_A = 78,842 S_F^{0.46}$ 의 관계가 성립하였다.

한편 어군체적은 어군면적의 측정이 가능하였던 36개의 어군에 대하여 (4)식을 이용하여 계산하고, 면적후방산란계수와와의 관계를 조사했다. 측정 한 어군체적의 범위는 0.23~64,082 m^3 , 그 평균은 4,146 m^3 , 표준편차는 11,092 m^3 이었다. 어군체적과 면적후방산란계수와와의 관계는 Fig. 6에 나타내었다. 어군체적과 면적후방산란계수와와의 상관계수는 0.76이었고, 그 관계는 $S_A = 30,895 V_F^{0.37}$ 이었다.

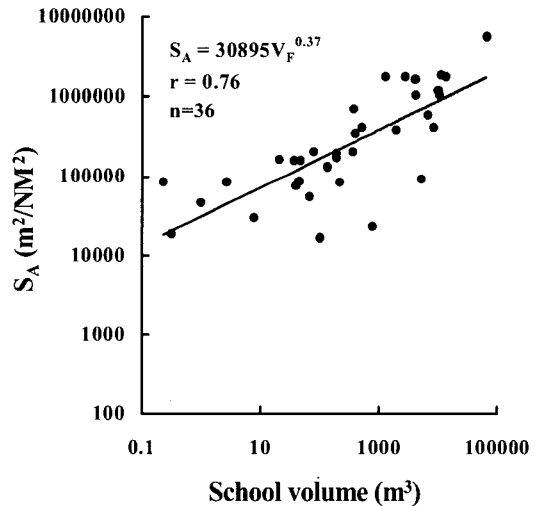


Fig. 6. Relationship between area backscattering coefficient (S_A) and school volume (V_F).

어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 지표와 어획량 및 면적후방산란계수와와의 관계에 대해서는 Misund *et al.*가 북해 및 노르웨이 연안의 청어, 스프래트 (Sprat) 및 세이스 (Saithe)를 조사한 결과, 어획량은 어군면적의 1.15~1.76승에 비례하고, 그 때의 상관계수는 0.66~0.94였다. 또 어군체적과의 상관계수는 0.71~0.98이었으며, 어군체적의 0.86~1.36승에 비례했다. 한편 계량어군

탐지기에 의한 면적후방산란계수와와의 관계에서 어군면적과 면적후방산란계수와와의 상관계수는 0.42~0.90, 또 어군체적과 면적후방산란계수와와는 0.58~0.96의 상관을 보였다. 어군의 기하학적 파라미터와 면적후방산란계수와와의 사이에는 분산이 다소 크게 나타났다. 그 원인으로서는 계량어군탐지기의 면적후방산란계수는 넓은 해역에서 자원량을 추정할 때 유효한 지표로 활용될 수 있지만, 단체어군의 어군량을 추정할 때는 좁은 수직 범으로 대상 어군의 전체를 파악할 수 없으므로 면적후방산란계수가 그 어군량에 대한 정보를 충분히 반영하고 있지 않다고 판단된다. 따라서 어군의 기하학적 파라미터를 정확하게 추출 및 비교하기 위해서는 단체어군의 어획량을 구할 필요가 있으나, 어획과정에서는 대상어군을 완전히 어획하는데 소요되는 시간적·경제적 부담을 고려하지 않으면 안 된다. 또한 계량어군탐지기를 이용한 방법으로서서는 단체어군의 측정 회수를 늘려 상관관계를 분석할 필요가 있다.

본 실험에 있어서 소너에 의하여 측정된 어군의 면적 및 체적과 계량어군탐지기에 의한 면적후방산란계수와와의 관계에서 정의 상관관계가 확인되었다. 소너로 관찰한 어군의 기하학적 파라미터가 어획량이나 계량어군탐지기에 의한 면적후방산란계수와 유의한 상관이 있으면, 이들을 이용한 어군량 추정은 가능할 것으로 생각된다. 앞으로 본 연구에서 해결하지 못한 어획량과 기하학 파라미터와의 관계, 또한 계량어군탐지기에 의한 면적후방산란계수의 측정과 관련하여 단체어군의 측정 회수를 더욱 늘려 기하학적 파라미터와의 관계를 분명히 하고, 이를 토대로 어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 추정법의 체계화와 측정과정의 자동화의 실현을 위한 연구를 수행하여야 한다.

요 약

어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 추정에 대한 기초적 연구로서, 소너와 계량어군탐지기를 동시에 사용하여 소너 화상으로부터 어군의 기하학적 파라미터, 면적 및 체적을 계측하고, 계량어군탐지기로 측정된 면적후방산란계수와와의 관계를 비교, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 면적후방산란계수 (S_A)는 어군면적 (S_F)과의 사이에는 $S_A = 78,842 S_F^{0.46}$ 의 관계가 성립

하였고 어군체적 (V_F)과의 사이에는 $S_A = 30,895 V_F^{0.37}$ 의 관계가 성립하였으며, 각각의 상관계수는 0.76이었다.

2. 소너로 관측된 어군의 기하학적 파라미터가 어획량이나 계량어군탐지기에 의한 면적후방산란계수와 유의한 상관이 있으면, 이들을 이용한 어군량 추정은 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) McClendon, R. I. (1968) : Detection of fish schools by sonar (eastern tropical pacific, July-November 1967), *Commer. Fish. Rev.* 30, 26-29.
- 2) Hewitt, R. P., Smith, P. E. and Brown, J. C. (1976) : Developments and use of sonar mapping for pelagic stock assessment in the California current, *Fish. Bull. US.* 74, 281-300.
- 3) Misund, O. A. (1993) : Abundance estimation of fish schools based on a relationship between school area and school biomass, *Aquat. Living Resour.* 6, 235-241.
- 4) Misund, O. A., Aglen, A., Hamre, J., Ona, E., Røttingen, I., Skagen, D. and Valdemarsen, J. W. (1996) : Improved mapping of schooling fish near the surface: comparison of abundance estimates obtained by sonar and echo integration, *ICES J. Mar. Sci.* 53, 383-388.
- 5) Misund, O. A., Aglen, A., Beltestad, A. K. and Dalen, J. (1992) : Relationships between the geometric dimensions and biomass of schools, *ICES J. Mar. Sci.* 49, 305-315.
- 6) Lee, Y. W., Mukai, T. and Iida, K. (2001) : A quantification of fish school abundance using scanning sonar, 70th Anniversary of JSFS, International Commemorative Symposium (Accepted).
- 7) Forbes, S. T. and Nakken, O. (1972) : Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal, Part 2 : the use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation, *FAO Man. Fish. Sci.* 5, 100-122.
- 8) MacLennan, D. N. and Simmonds, E. J. (1992) : Fisheries Acoustics, CHAPMAN & HALL, 124-134.