

음향도플러유향유속계(ADCPs)를 이용한 해양생물의 행동 패턴 및 밀도 추정에 관한 연구

이경훈
부경대학교

서론

음향도플러유향유속계(Acoustic Doppler Current Profilers; ADCPs)는 유연력을 가지지 않는 바닷속의 부유 산란체에 대한 음향산란과의 도플러 주파수편이를 측정하여 조사해역의 유속장을 파악하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에, 일반적으로 음향산란과의 에코강도에 대한 정보는 사용되지 않고 있다. 그러나, 수신되는 에코강도는 음향산란층의 생물밀도에 비례하므로, 이것을 적극적으로 활용하면, 대상으로 하는 해양생물의 밀도를 추정할 수 있는 가능성이 있다(Brierley *et al.*, 1998).

따라서, ADCP로부터 측정되는 에코강도(Echo Intensity, counts)를 평균체적후방산란강도(Mean Volume Backscattering Strength or averaged SV, dB/m)로서 정량적으로 해석할 필요가 있으나 조사해역의 유속장을 파악하기 위한 목적의 ADCP는 공간분해능이 낮으며, 선체의 수직방향에 대하여 경사진 음향방사 빔을 이용하여 측정하고 있으므로, 에코강도에 대한 교정 방법의 정량화에 대한 검증이 필요하다. 한편, 대상으로 하는 산란체가 유연능력이 가지고 있는 경우, ADCP로부터 검출되는 도플러 편이에는 해류의 유속장과 함께 대상해양생물의 이동속도 성분이 포함되므로, 이러한 유향유속의 벡터성분을 분리할 수 있으면 해양생물의 이동속도를 추정할 수 있다(Demer *et al.*, 2000).

본 연구에서는 현재 많은 선박에 탑재되어 사용되고 있는 ADCP를 이용하여 해류의 유속장을 파악하는 동시에, 음향산란층에 존재하는 대상 해양생물의 밀도를 추정하고, 해양생물의 이동속도를 측정한 후, 실제 유속장과의 벡터계산에 의해 유영속도를 추정하였으며, 크기가 다른 해양생물의 유영속도를 적용한 종판별 방법에 대해서 검토하였다.

재료 및 방법

실험은 일본 홋카이도 분카만 주변 해역에 분포되는 음향산란층을 대상으로 하였고, Fig. 1과 같이 선저장비형(shipboard type) 및 해저설치형(bottom mounted type) ADCPs를 이용하여 음향 데이터를 수록하였다.

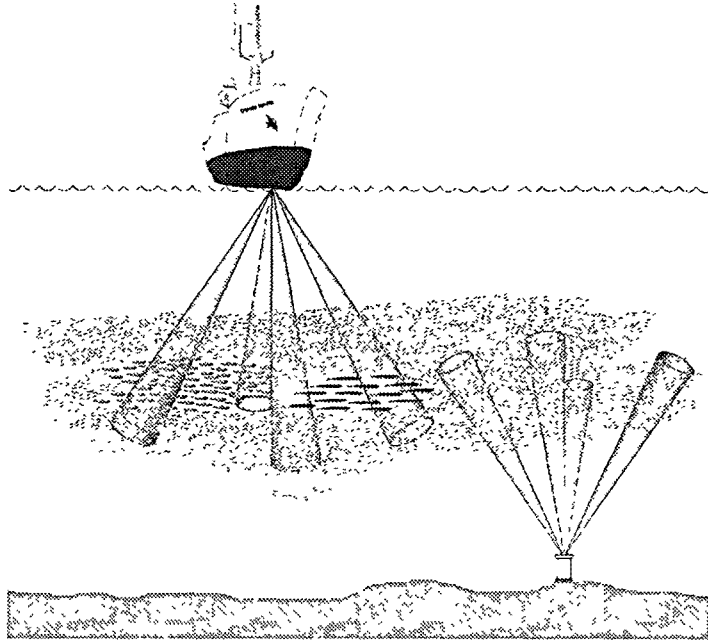


Fig. 1. Sketch of acoustic data were collected using shipboard and bottom mounted ADCPs.

선저장비형 ADCP는 홋카이도대학 수산학부 실습선(T/S Ushio-maru)에 설치된 4 빔형 Ocean Surveyor(RD-Instruments 사)로서, 주파수는 153.6 kHz, 음향 빔은 트랜스듀서의 수평방향에 대해 수직선으로부터 30° 기울어져서 음파를 1 초 간격으로 발사한다. 수신된 음파정보는 평균 처리되어 에코강도, 유향·유속 정보와 GPS 및 자이로의 위치·방향 정보를 함께 수록하였다. 한편, 해저설치형 ADCP는 주파수 307.2 kHz이며, 4 개 빔이 트랜스듀서의 수직선으로부터 20° 기울여서 상향으로 음파를 발사한다. 이것을 분카만의 중앙부, 수심 84 m의 지점에 설치하여, 2003년 4월 19일부터 5월 6일까지 연속적으로 데이터를 수록하였다. 수신데이터의 평균처리시간은 10 분 간격이며, 1 초 간격으로 50 ping씩 평균한 데이터를 내장 메모리에 저장하였다.

각각의 ADCP를 이용하여 수록한 데이터는 ADCP의 제조회사에서 제공된 각 시스템 상수와 조사해역에서 측정된 환경 파라미터 및 주변노이즈 레벨을 적용한 다음 식을 이용하여 각 적분층에 대한 수신된 에코강도를 평균 SV값으로 변환하고, 과학어군탐

지기(EK60, SIMRAD사)로부터 수신된 교정값과 비교, 분석하였다.

$$SV = 10 \log_{10} \left\{ \frac{4.47 \times 10^{-20} K_2 K_S (273 + T_X) (10^{K_c(E-E_r)/10} - 1) R^2}{(C_s P K_1 10^{-2\alpha R/10})} \right\}$$

그 후, ADCP로부터 측정된 MVBS값을 이용하여 일본 북해도 분카만 지역에 분포하는 음향산란층의 주요 구성생물인 유우파우시아(*Euphausiids*, *Euphausia Pacifica*)의 음향산란특성을 DWBA(Distorted Wave Born Approximation) 음향산란모델을 이용하여 계산(McGehee *et al.*, 1998)한 후, 다음 식에 의해서 조사해역에 분포하는 유우파우시아의 밀도를 추정하였다. 그리고, 과학어군탐지기와 프레임중층트롤(Framed Mid water Trawl)에 의한 채집구성 생물의 밀도추정치와 비교, 분석하였다.

$$\bar{\rho}_V = 10^{\frac{MVBS}{10}} \left(\frac{\overline{WW}}{\sigma_{bs}} \right) \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

또한, 어군의 이동속도는 Fig. 2와 같이 ADCP로부터 측정된 산란에코를 부유산란체로부터의 에코와 유영력을 가진 어군에 의한 에코를 분리하는 것에 의해 측정된다. 일반적으로 유영력이 없는 미세한 부유산란체는 에코강도가 미약하고, 그 속도벡터 또한 크지 않으나, 어군에 의한 에코강도는 크며, 속도벡터도 해류에 비해 볼 때, 크게 측정되어진다. 현재 사용되고 있는 ADCP로 측정된 3 차원속도 벡터는 시스템에 내장되어 있는 어군식별알고리즘에 의해 어군의 성분을 제거하여 평균 계산되어 조사해역의 유속장으로 측정되지만, 어군식별알고리즘을 제거하여 어군에 의한 속도 성분과 에코강도를 기준으로 하여 측정된 어군의 3차원 이동속도를 유속장과의 벡터 계산에 의해, 어군의 유영속도를 추정할 수 있다. 마지막으로, 이동하는 어군의 유영속도로부터 어종판별의 가능성을 검토하였다.

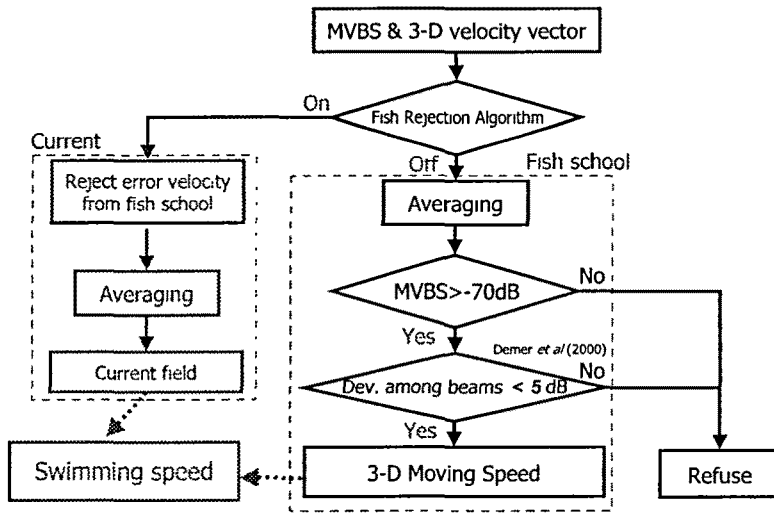


Fig. 2. Procedure for the extraction of fish school's swimming speed.

결과 및 고찰

도플러유향유속계를 이용한 분카만 만외부에 있어서의 음향산란층의 생물밀도를 추정하고, 도플러 편이로부터 음향산란층의 이동속도 및 분포하고 있는 어군의 유영속도를 추정하고, 어종을 식별하는 방법에 대해서 분석하였다. 본 연구의 성취된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. ADCP는 조사해역의 유향·유속을 측정하는 것은 물론, 수신된 에코강도를 이용하여 과학어군탐지기의 절대치와의 비교 교정을 행하는 것에 의해, 평균 체적후방산란 강도 (MVBS)를 정량화할 수 있었다.
2. 음향산란층을 대상으로, ADCP로부터 측정된 MVBS값(153.6 kHz)과 과학어군탐지기에 의한 MVBS값(38, 120, 200 kHz)을 비교한 결과, 높은 상관관계를 가지고 있었으나, 최대 10 dB의 편차가 발생하였다. 이것은 대상으로 하는 특정 산란체의 주파수특성에 의한 것이라고 판단되었다.
3. 프레임중층트롤장치를 이용하여 음향산란층의 생물채집을 행한 결과, 주 구성 해양생물은 유우파우시아 (*Euphausia pacifica*)였다. 음향산란 이론모델을 이용하여 유우파우시아의 반사강도(Target Strength, dB)식을 추정하고, 채집 채장분포에 대한 주파수특성을 조사한 결과, 200 kHz의 MVBS는 38 kHz의 그것보다 10~25 dB 크고, 153.6 kHz보다도 0~3 dB 큰 음향특성을 나타내었다.
4. 이에 대한 주파수특성을 이용하여 유우파우시아의 에코강도를 추출하고, 음향데이터와 채집 샘플데이터로 추정한 결과, Fig. 3과 같이 높은 상관관계를 나타내었으나, 음향에 의한 밀도추정치는 채집 샘플데이터의 추정치보다 높게 추정되었다. 그 원인으로서는, FMT에 대한 대형 유우파우시아의 도피에 의해 채집 샘플의 생물밀도가 낮게 추정된 것과 이에 따른 낮게 추정된 평균체장과 평균 TS에 의해 음향에 의한 밀

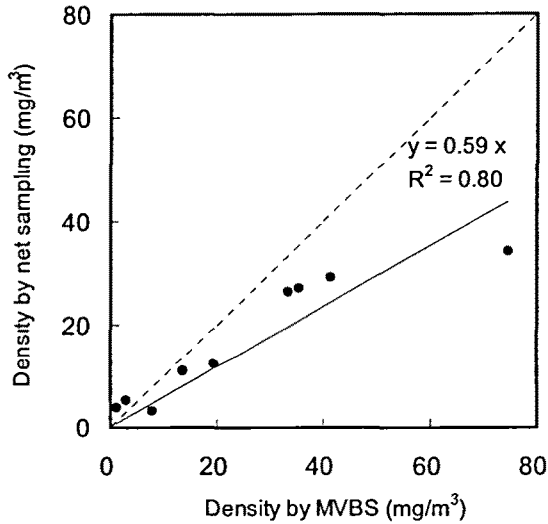


Fig. 3. Relationship between biological density by net sampling and acoustically estimated density.

도치가 과대평가된 것으로 판단된다.

5. 음향산란층은 수심이 낮은 중층에 분포되고, 야간은 표층에 이동하는 일주연직이동을 행하는 것이 선저장비형 및 해저설치형 ADCP의 에코 그래프에도 명확하게 나타났다. 또한, 일·출몰 전후 음향산란층의 연직이동이 ADCP의 도플러 편이에 의한 연직속도 성분에도 검출되었으며, 다른 산란체와의 구분이 가능하였으며, 연직속도의 편차는 구성하는 생물분포에 따라 차이가 발생하였다.
6. 조사된 해역의 음향산란층 부근에는 어군과 같은 강한 에코강도가 측정되었으며, 그것에 의해 해류의 유속장과는 다른 큰 속도성분이 검출되었다. 분포 생물의 채집 결과, 꽁치(Pacific Saury, *Cololabis saira*) 어군과 멸치류(lanternfishes, *Diaphus theta*) 어군이였다. ADCP에 내장되어 있는 fish rejection algorithm을 제거하여 각 어군의 의한 3차원 속도성분으로부터, 꽁치의 평균유영속도는 91.3 cm/s이며, 체장기준속도는 약 4.17 BL/s이였다. 또한, 멸치류가 채집된 음향산란층의 3차원 속도성분으로부터, 평균유영속도는 28.1 cm/s이며, 체장기준속도는 약 4.26 BL/s이였다.
7. ADCP를 이용하여 측정된 어군의 이동속도나 방향은 대상생물의 행동패턴을 나타낼 수 있으며, 다른 중층성 어족의 유영속도 추정 및 어종식별에 유효하다고 판단된다.

참고문헌

- Brierley AS, Brandon MA and Watkins JL. 1998. An assessment of the utility of an acoustic Doppler current profiler for biomass estimation. *Deep Sea Research* 45: 1555-1573.
- Deines KL. 1999. Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers. *Proceeding of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement*, San Diego, USA: 5pp.
- Demer DA, Barange M and Boyd AJ. 2000. Measurements of three-dimensional fish school velocities with an acoustic Doppler current profiler. *Fisheries Research* 47: 201-214.
- Griffiths G and Diaz JI. 1996. Comparison of acoustic backscatter measurements from a ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler and an EK500 scientific echo-sounder. *ICES J. Mar. Sci.* 53: 487-491.
- Lee K, Mukai T, Kang D and Iida K. 2004. Application of acoustic Doppler current profiler combined with a scientific echo sounder for krill *Euphausia pacifica* density estimation. *Fisheries Science* 70: 1051-1060.
- Madureira LSP, Everson I and Murphy EJ. 1993. Interpretation of acoustic data at two frequencies to discriminate between Antarctic krill(*Euphausia superba* Dana) and other scatterers. *Journal of Plankton Research* 15(7): 787-802.
- McGehee DE, O'Driscoll RL and Martin LV. Traykovski. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic Krill at 120 kHz. *Deep Sea Research* 45: 1273-1294.