

동해 남서해역에서 ADCP 자료에 의한 후방산란 강도와 수온구조와의 비교

강돈혁 · 나정열

한양대학교 지구해양학과

Comparison of the Temperature Profile with the Backscattering Strength by the ADCP Data in the Southwestern Part of the East Sea

DONHYUG KANG AND JUNGYUL NA

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University

1993년 4월 동해 남서해역에 발생한 난수성 소용돌이의 수온구조와 ADCP (Acoustical Doppler Current Profiler)의 음향자료를 이용하여 계산된 후방산란 강도 구조의 상관관계를 연구하였다. 후방산란 강도 계산 결과, 난수성 소용돌이 중심부와 10°C의 등온선 부근에서 산란체의 의한 산란강도가 크게 나타나고 있다. 수온 구조와의 비교시 남북단면의 경우 산란강도 구조는 수온 구조와 일치하는 모양을 보이고 있으나, 동서단면의 경우 산란강도가 연안쪽에서 크게 나타나는 비대칭 구조를 보이고 있어 수온구조와 일치하지 않고 있다. 이같은 비대칭 현상은 동한난류의 유입측인 연안쪽에서 해류와 산란체로 작용하는 부유생물(주로 동물성 플랑크톤)이 함께 이동하여 산란체의 양적 분포가 크기 때문이라 설명할 수 있다. 또한 같은 해 8월 관측된 CREAMS' 93(Circulation Research of the East Asian Marginal Sea)의 ADCP 자료 분석 결과는 산란강도와 수온구조가 유사하게 나타나고 있다.

The relationship between temperature profile and backscattering strength(S_v) computed by the ADCP data is studied in warm eddy of the southwestern parts of the East Sea of Korea in April, 1993. The result shows that S_v is higher at both the center of warm eddy and the 10°C isotherm. The profile of the S_v with depth in N-S direction shows a symmetric shape that is almost the same as the warm eddy. But the profile of S_v in E-W direction shows asymmetric shape where the S_v of the eastern parts is smaller than that of western parts. The asymmetric distribution may be due to the migration of a large number of scatterer(mainly zooplankton) carried by EKWC(East Korea Warm Current). Profile of the S_v is similar to the temperature with depth in the ADCP data of CREAMS' 93(Circulation Research of the East Asian Marginal Seas).

서 론

동해 남서해역은 고온, 고염의 동한난류수와 저온, 저염의 북한한류수가 만나는 위치로 두 해수의 물리적 차이로 인하여 시공간적으로 복잡한 해류 현상을 일으키며 동해 해수순환에 중요한 역할을 하고 있다. 이들 두 개의 서로 다른 해수의 상호작용은 대부분 수심 200 m 이하의 상층부에서 나타나며

시공간적으로 위치를 달리하여 안정된 극전선을 형성하고 있다(김, 1990). 이와같은 동해의 해수순환 및 수괴에 따라 분포하는 수온, 염분, 유향, 유속 등의 물리적 요소들은 직·간접적으로 해양화학, 생물 등의 다른 요소들의 시공간적인 분포에 영향을 주고 있다. 수온의 변화에 따른 영양염류 및 용존산소의 분포, 수괴특성과 동물플랑크톤 분포종 사이의 상관관계의 연구 등이 이루어졌다(이, 1988; 박 등,

1991). 이들은 접근 방법에서 차이가 있으나 각각의 영역에서 의미를 가지고 있을 뿐 아니라, 서로의 상관관계 규명으로 인하여 해류, 수괴 등 물리해양 연구의 자료로 사용 가능성이 밝혀졌다. 한편 해수의 물리적 특성과 부유생물체의 상관관계 규명시 사용되는 여러 방법중 채집망을 이용한 동물플랑크톤 분포에 대한 기존의 연구방법은 각각의 장단점을 가지고 있다. 즉 일정한 위치 및 수심에서의 분포 종과 생체량 측정에는 정확한 방법이지만 수직 및 수평 분포의 복잡성에 따른 자료의 신뢰성 결여, 많은 비용 등으로 인하여 광범위한 지역의 시공간적 분포 특성 연구에는 한계를 가지고 있어 동해에서 관측된 대다수 동물플랑크톤 자료는 시공간적인 분포를 나타내지 못하고 있다. 한편 순수 해양생물 연구방법의 단점을 보완하기 위하여, 해양생물체(어류, 플랑크톤)와 음파와의 서로 다른 물리적 성질(density, compressibility)에 의하여 발생하는 산란 특성을 이용하여 해양 생물체의 시공간적 분포 연구에 수중음향이 다양하게 이용되고 있다(나와 박, 1989; 최, 1991; Flagg & Smith, 1989). 사용음파가 저주파일 경우 swim-bladder를 가지고 있는 어류가, 고주파일 경우 동물플랑크톤이 주요 산란체로 작용하여 주파수의 선택에 따라 분포 연구가 가능하고, 사용하는 acoustic beam(split-beam, dual-beam 등)에 따라 해수 체적내의 전체 및 개개 산란체의 분포특성을 연구할 수 있다(Penrose, 1978; Holliday, 1984; MacLennan & Simmonds, 1992). 이러한 순수 해양학적 접근 이외에 수중음향을 이용하여 해양생물을 연구하는 방법이 활발히 진행중이나 국내에서는 아직 시작의 단계에 머무르고 있다.

따라서 본 연구는 위에서 언급한 간접적인 방법의 하나인 수중음향학적 접근 방법으로서 난수성 소용돌이의 수온구조와 ADCP 자료로 계산된 후방산란 강도(backscattering strength)의 시공간 분포를 비교 분석하여 물리적 요소인 수온 및 해류와 음파의 주요 산란체인 부유성 플랑크톤과의 상관성을 알아 보았다. 또한 난수성 소용돌이 내에서 시간별 산란강도 분포를 이용하여 생물체의 일주기 이동을 예측하였다. 아울러 수온구조와 후방산란 강도 구조의 비교 분석에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 CREAMS'93의(Circulation Research of the East Asian Marginal Seas) 자료를 이용하였다.

음향자료 및 수온구조

본 연구에 사용된 자료는 동해에서 발생한 난수성 소용돌이의 물리적 특성을 규명하기 위하여 1993년 4월 한국 해양연구소에서 관측한 자료의 일부로 ADCP의 음향자료는 실측자료를, 수온구조는 연구 보고서를 이용하였다(김, 1993). 또한 동해의 해수 순환을 연구하기 위하여 1993년 8월 한국, 러시아, 일본 3개국이 공동으로 수행한 CREAMS' 93의 ADCP와 CTD 자료중 동해 중부해역의 자료를 부가적으로 이용하였다. 두 연구지역의 위치는 Fig. 1과 같다. Open circle(N1~N20, E1~E18)은 한국해양연구소에서 4월에, asterisk(*, A1~A7)는 8월 CREAMS' 93의 관측 정점이다.

1. 음향자료

ADCP(153.6 kHz)는 음파의 상호간섭을 피하기 위하여 4개의 acoustic beam 사이가 수평적으로 90°, 기기의 수직축에 대하여 30°의 기울기를 가지고 있으며 input power는 high power인 100 watts를 이용한다(high power 음원 사용시 관측 가능 수심은 240~400 m이다). 해상풍과 해수면 상호작용으로 생성되는 기포의 영향을 배제시키기 위하여 ADCP를 수심 5 m에 설치한 후 1초 간격으로 ping data를 기록한다. 이때 각각의 ping data를 30초 동안 평균하여 1개의 ensemble 자료를 측정하는 방법으로 각 정점에서 10분 동안 20개의 ensemble 자료를 얻었다(Table 1; Kim, 1993). 한편 ADCP ping data는 임의의 수심에 해당하는 자료가 아니라 8 m의 층별 자료이므로 Table 1에서 보여주는 AMP(echo amplitude)는 각 층의 체적내에서 산란되어 수신기에 들어오는 음압에 해당된다.

2. 수온구조

한국 해양연구소에 의하여 4월에 관측된 난수성 소용돌이는 남북과 동서 단면에서 렌즈모양의 수온 구조를 보이고 있다(Fig. 2). 100 m에서 최대 폭을 보이고 있는 10°C의 등온선을 기준으로 보면 남북 방향으로 약 140 km, 동서 방향으로 약 90 km의 크기를 보이고 있다. 또한 10°C의 등온선은 난수성 소용돌이의 중심축에서 최대 200 m까지 분포하며 중심축(N10, E10)을 경계로 뚜렷한 대칭 구조를

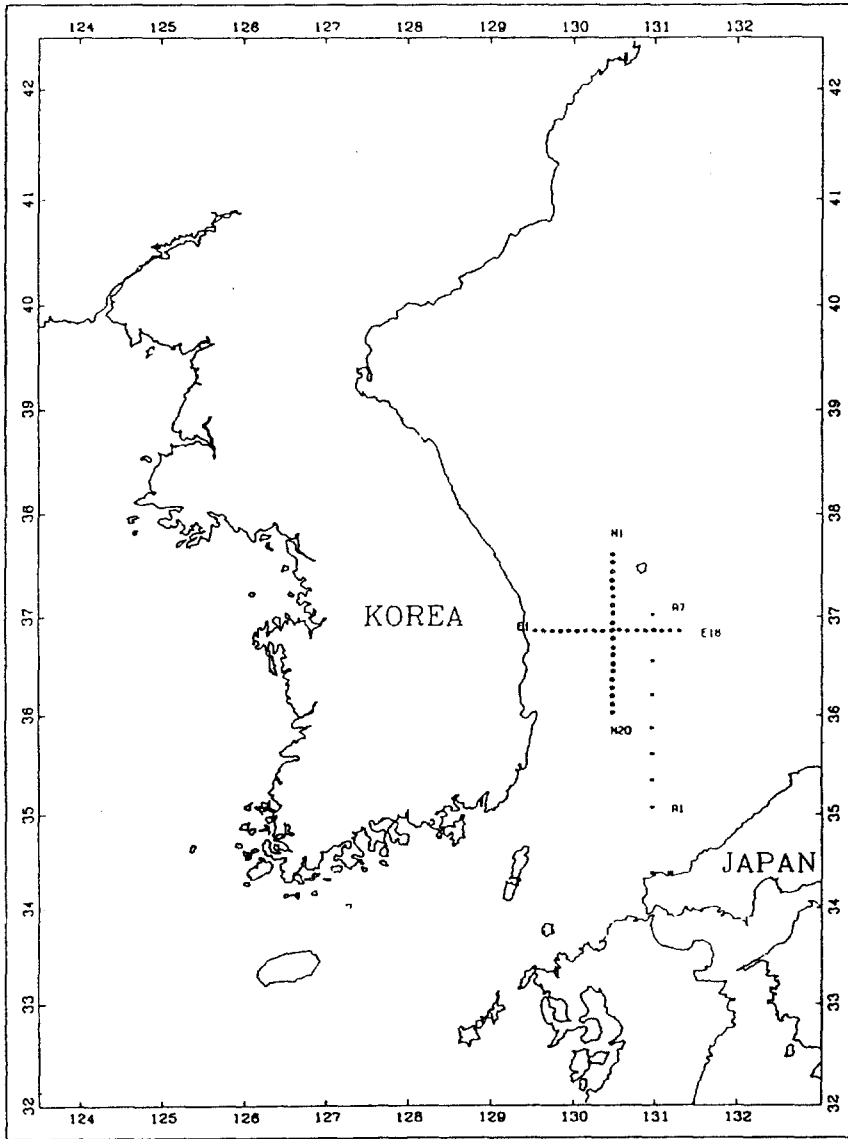


Fig. 1. A map of observation point.

Table 1. ADCP ping data format

Example	ENSEMB #	TIME	BT-Vx	BT-Vy	HEADIN	ROLL	PITCH	TEMP
	1	14:08:18	10	25961	27.42	-7.03	-11.72	15.67
DEPTH		VX	VY	VZ	VE	BT-Vx	PG-GOOD	AMP
8		-78	45	-7	100	10	100	214
16		-119	-100	21	108	10	100	163
24		-69	30	-16	7	10	100	170

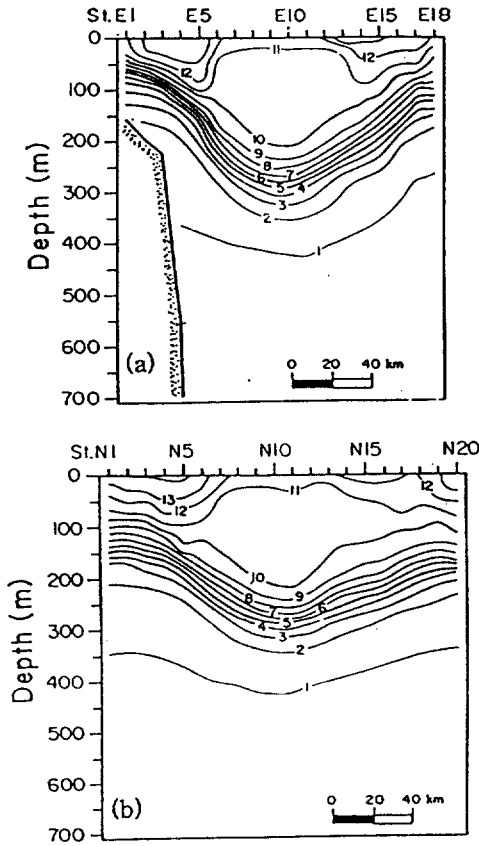


Fig. 2. Vertical distribution of the temperature ofn E-W line 9a) and N-S line (b) in the warm-eddy in April, 1993 (After Kim, 1993).

가지고 있다. 난수성 소용돌이는 중심축을 경계로 시계방향의 흐름을 보이고 있으며 수심 200 m까지도 같은 방향을 유지하고 있다(김, 1993). 한편 8월 CREAMS' 93의 CTD 관측자료 결과, 정점 A6을 중심으로 난수성 소용돌이가 존재하고 있으며, 수심 150 m까지 10°C의 등온선이 존재하고 있다 (Fig. 3). 이같이 등수심에서 같은 시기의 남쪽보다 수온이 높은 이유는 4월에 김(1993)에 의하여 관측된 난수성 소용돌이가 시계방향의 회전을 하면서 중심축이 이동하였으며 소용돌이의 세력이 약해져서 4월에 비하여 크기가 작아졌기 때문으로 여겨진다.

ADCP 자료 처리

고주파 음원을 사용할 때 파장과 펄스길이에 의한

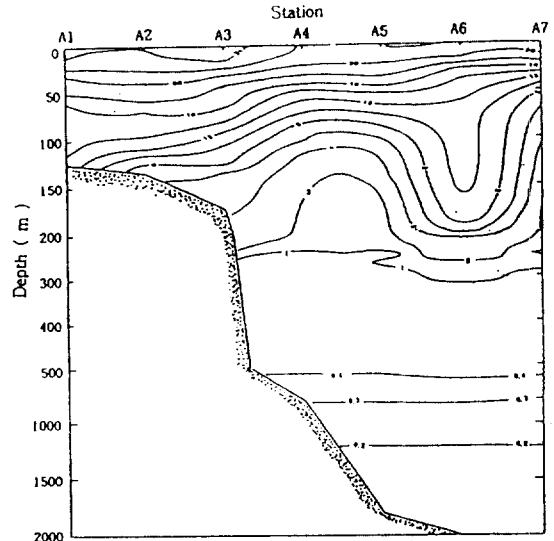


Fig. 3. Vertical distribution of the temperature on CREAMS'93 data in August, 1993. A warm-eddy is observed at station A6.

산란체(scatterer)의 분해능의 한계가 있으므로 일정한 크기의 산란체만 음파 산란을 일으키게 되는데 주로 동물성 플랑크톤(예: Copepod, Chaetognath 등)이 이에 해당된다. 입의 산란체에 입사파가 도달하면 산란현상을 일으켜 모든 방향으로 음파가 산란되는데 이때 입사파의 방향으로 산란되는 음압을 후방산란 강도(backscattering strength, S_b)라 한다. 이때 산란강도를 간단한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S_b = 10 \log \left(\frac{I_r / \text{unit volume}}{I_i} \right) = 10 \log(\sigma_{bs} N_i) \quad (1)$$

식에서 I_i 은 입사파의 강도, I_r 은 후방산란 음파의 강도, σ_{bs} 는 후방산란 단면적, N_i 는 산란체의 개체수를 나타낸다. 후방산란 단면적은 산란체의 음파에 대한 성질에 따라 다르게 나타난다. 즉 사용주파수와 산란체의 직경(a)의 관계에서 $ka(k=2\pi/L, L=\text{파장})$ 의 값의 범위에 따라 산란특성을 분류하고 있으며 $ka \ll 1$ 일 때를 Rayleigh scatterer, $ka \gg 1$ 일 때를 Geometric scatterer라 한다. ADCP 사용 주파수가 153.6 kHz 이므로 주파수와 동물 플랑크톤의 크기 관계에서 ka 값이 1보다 작게 나타나므로 Rayleigh scatterer라 할 수 있다. Rayleigh scatterer일 때

후방산란 단면적은 식에서 나타나듯이 주파수와 산란체 직경의 함수로 표시된다 (Urlick, 1983).

$$\sigma_{bs} = \left[\frac{(ka)^4}{\pi} \right] \left[\frac{(e-1)}{e} + \frac{(g-1)}{(2g+1)} \right]^2 \pi \alpha^2 \quad (2)$$

$e = E/E_0$, ratio of elasticity of sphere to medium;

E is calculated from $c^2 = E/\rho_A$

$g = \rho/\rho_0$, ratio of density of sphere to medium

수심별 raw echo amplitude(AMP, Table 1)는 8 m 각 층에서 산란체로부터 산란되어 되돌아오는 음압으로 sound absorption, beam spreading, transmitted power, backscatter coefficient, noise level 등의 영향을 받는다. 이때 수신기의 echo amplitude와 noise는 온도에 따라 영향을 받으므로 온도 보정을 해야 한다. Echo amplitude level은 Table 1에서 자료의 신뢰도(PG-GOOD) 100%인 것을, noise level은 0%인 것을 택하였다.

$$C_t = C_0 T_0 / T$$

$$N_t = N_r - 0.81 \times (T - T_r) \quad (3)$$

식에서 C_t = the conversion coefficient at temperature $T(K)$

C_0 = the conversion coefficient at temperature T_0

(typically 0.46 dB/count at 22°C)

N_t = noise level at $T(K)$

N_r = noise level at reference temperature $T_r(K)$

(typically 40 dB/count at 22°C)

음파가 해수 중을 통과하면서 발생하는 음파손실(TL)은 전파손실(spreading loss)과 감쇠손실(attenuation loss)로 나누어진다.

$$TL = 20 \log(r) + 2\alpha r - 10 \log(10^{-3} D) \quad (4)$$

식에서 r 은 거리, α 는 감쇠계수, D 는 bin depth이다. 각 항에서 $20 \log(r)$ 은 spreading loss(2-way cylindrical spreading) 효과, $2\alpha r$ 은 거리에 따른 음파의 감쇠율 효과, $10 \log(10^{-3} D)$ 은 음파가 퍼져나가면서 커지는 체적의 손실 효과이다. 실제 ADCP의 수신기에 측정되는 echo amplitude는 산란체가 존재하는 임의의 수심에 도달할 때 spreading, attenuation,

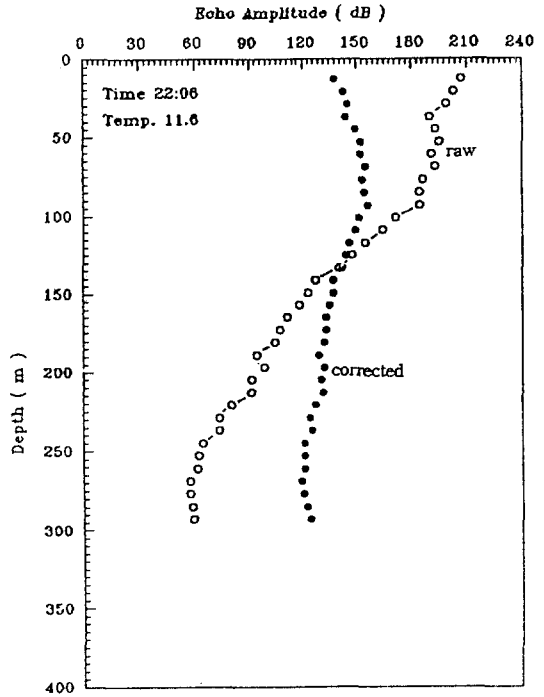


Fig. 4. Vertical distribution of raw and corrected echo amplitude at station N10 in the warm-eddy of the East Sea of Korea.

insonified volume에 의하여 영향을 받으므로 위에서 기술한 식을 이용하여 raw echo amplitude로부터 corrected echo amplitude를 계산해야 한다 (RD Instrument, 1991; Fig. 4).

$$Ec = 10 \log[10^{Ac/C_t/10} - 10^{N_t/C_t/10}] + 20 \log r - 10 \log(10^{-3} D) + 2\alpha r / \cos\theta \quad (5)$$

식에서 Ec : Corrected echo amplitude

Ac : Raw echo amplitude in each bin

N_t : Corrected noise level

D : Bin depth (8 m)

θ : Angle between ADCP's axis and each beam

r : Range (m)

음파가 8 m를 이동했을 때 식 4에서 전파손실은 약 18 dB, 감쇠손실은 0.09 dB, 음파가 퍼지면서 생기는 손실은 21 dB의 크기를 가지고 있다. 이때 전파손실과 감쇠손실은 거리에 따른 함수로 수심이 증가하면서 보정값이 커지게 된다. 한편 임의의 소

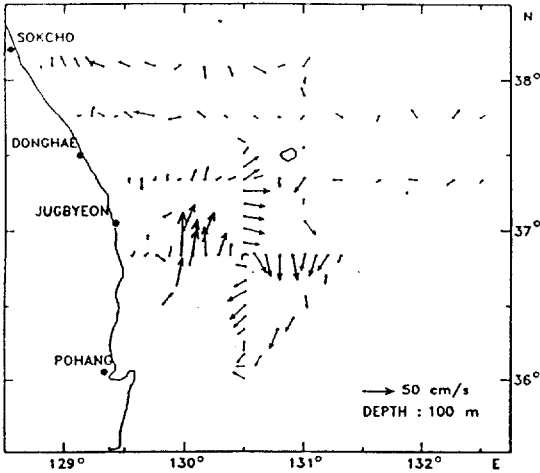


Fig. 5. Horizontal distribution of current velocity at 100 m depth in April, 1993 (After Kim, 1993)

나에서 음원 음압(source level, SL)은 radiated acoustic power와 transmitting directivity index(DI_T)에 의하여 결정이 된다. Piston type의 음원을 사용하는 ADCP의 DI_T는 piston diameter(a)와 주 파수의 함수이다. 일반적으로 사용하는 sonar projector의 electric power(E)는 효율(eficiency, Pe)이 20~70%이고, ADCP 자료 중 신뢰도가 100%인 것만 이용하였으므로 Pe는 최대치인 70%를 택하였다.

$$SL = 171.5 + 10 \log P_e + 10 \log E + DI_T \quad (6)$$

$$DI_T = 10 \log(ka)$$

음원 음압의 계산은 ADCP로부터 측정된 음압이 상대치가 아닌 절대치임을 보여주고 있는데 사용된 ADCP transducer의 특징과 input power를 고려시 SL은 약 224.5 dB의 값을 가지고 있다. 이상의 식을 이용하여 각 층의 제적 산란강도(S_r)를 source level, corrected echo level, insonified volume의 관계식으로 부터 계산하였다.

$$S_r = 10 \log [10^{A_{CI}/10} - 10^{N_{CI}/10}] + 20 \log r - 10 \log (10^{-3} D) + 2 \alpha r / \cos \theta - SL - 10 \log V \quad (7)$$

결과 및 토의

본 연구해역 부근의 해류특성은 연안을 따라 북

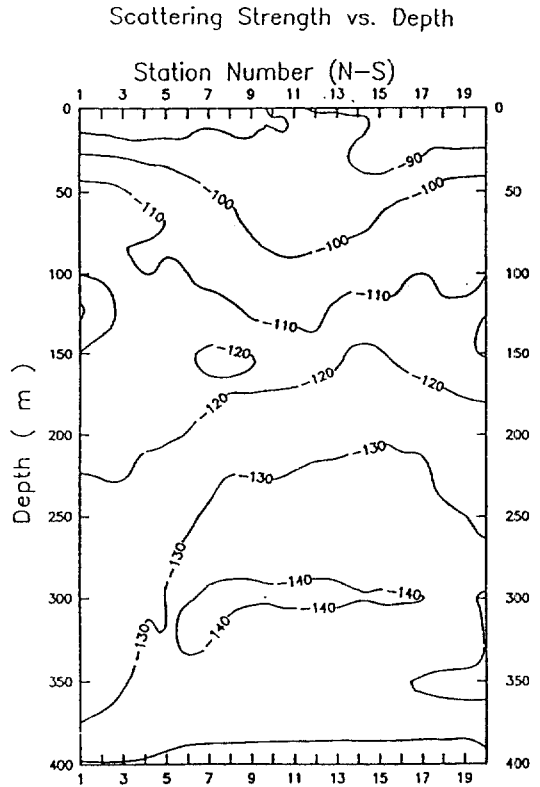


Fig. 6. Contour plot of the scattering strength at N-S line of the warm-eddy in the East Sea of Korea. The center of the warm-eddy is N10 and the outer parts of the warm-eddy are N1 and N20.

상하다가 외해로 이동하는 고온,고염의 동한난류와 이안후 나타나는 사형성 소용돌이로 나타나며, 난수성 소용돌이가 연안 가까이에 위치할 경우 연안층 해류의 북향성분 속도는 외향의 남향성분과 비교하여 매우 크게 나타나고 있다 (Fig 5; 김, 1993). 특히 난수성 소용돌이가 존재함으로 해서 해류에 의해 이동되는 해양생물체의 공간적 분포 특성이 예측되며 이러한 분포 특성은 수온과도 밀접한 관계가 있을 것이다. 이러한 수온분포 특성과 생물체간의 상관성을 보기 위하여 ADCP 음압 자료로부터 계산된 수심별 산란강도의 분포를 남북단면과 동서단면으로 나타냈다.

남북단면의 경우 난수성 소용돌이의 중심부인 N 10을 중심으로 남, 북이 서로 뚜렷이 대칭되는 산란강도 구조를 보이고 있다. N10의 경우 수심 100 m를 고려시 등수심의 다른 지역과 비교하면 소용

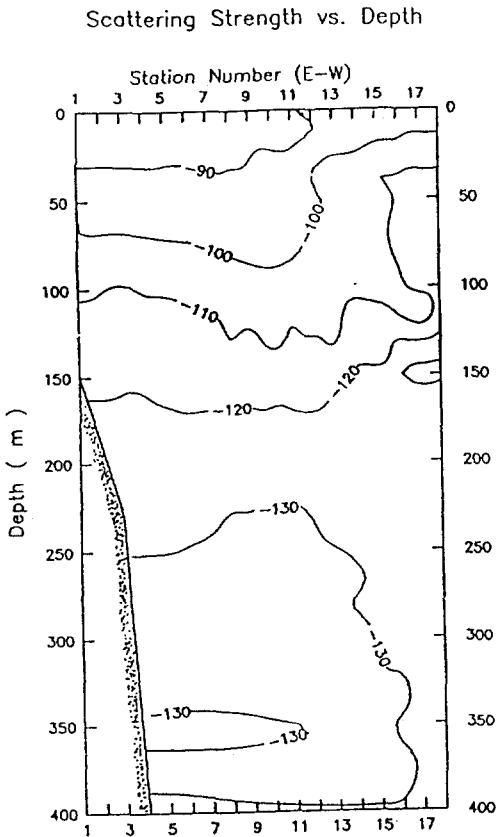


Fig. 7. Contour plot of the scattering strength at E-W line of the warm-eddy in the East Sea of Korea.

돌이의 끝부분보다 최대 15 dB 이상 차이를 가지고 있으며 -120 dB를 기준으로 하면 수심 200 m 부근까지 강한 산란강도 구조가 나타나고 있다. 이러한 산란강도 구조를 앞의 Fig. 2에서 보여준 남북단면의 수온구조와 비교하면 전체적으로 소용돌이의 중심축을 경계로 대칭되는 양상을 보여 두 구조가 일치하는 모양을 가지고 있음을 알 수 있다(Fig. 6).

동서단면의 산란강도 구조는 남북단면의 구조와는 달리 중심축을 경계로 비대칭 구조를 보이고 있다 (Fig. 7). 100 m 등수심을 기준으로 산란강도 값의 분포 형태는 중심축에서 소용돌이의 동쪽 외해 끝부분보다 10 dB 정도의 차이를 보이고 있으나 연안쪽과는 같은 값을 가지고 있다. 또한 강한 산란강도 구조가 남북단면과 유사하게 약 수심 200 m 까지 형성이 되고 있음을 보여주고 있다. 동서 비대칭 구조를 남북의 산란강도 구조처럼 단순히 수

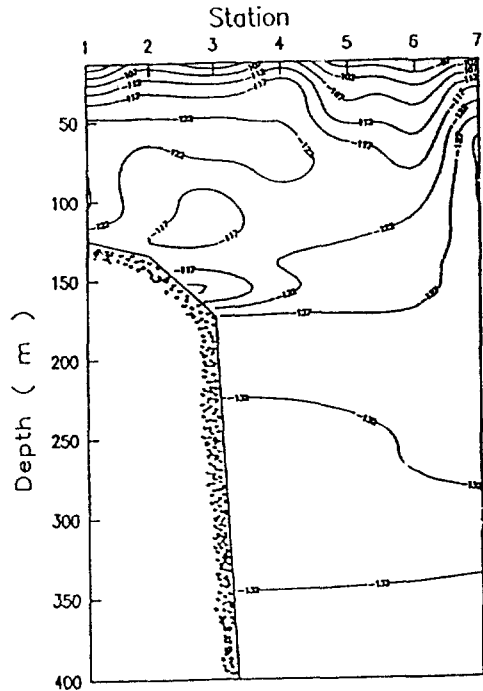


Fig. 8. Contour plot of the scattering strength from CREAMS'93 data of the East Sea in August, 1993.

온구조와 비교했을 때 불일치성을 보이고 있는데 이러한 비대칭 구조는 난수성 소용돌이의 형성과 관련지어 설명을 해야할 것이다. Fig. 5에서 소용돌이 근처의 유속 및 유향을 보면 남북단면의 경우 동한난류의 유입지점이 아니라 유입된 해수가 회전축을 하는 축이므로 형성된 수온 구조내에 존재하는 산란체들에 의한 영향을 받게 된다. 그러나 동서단면의 경우 중심축 서쪽 연안쪽에서 북향의 강한 해류를 보이고 있는데 이같은 강한 동한난류의 이동이 수심 100 m까지 존재하고 있다. 이러한 고온, 고염의 동한난류의 유입은 동시에 음파의 산란체로 작용하는 부유성 플랑크톤의 이동을 수반하여 동한난류의 유입축인 동서단면의 서쪽에서 강한 산란구조가 나타나 수온구조와의 불일치성을 만들어 냈다고 생각된다. 그러므로 유입축이 아닌 이미 형성된 소용돌이나 회전축에서의 산란강도 구조는 수온구조와 상당한 일치성이 있다고 사료된다. 이러한 생각은 CREAMS' 93 자료에서 보여주는 수온구조와 산란강도 구조가 뒷받침하고 있다(Fig. 8). Fig. 3에 나타나듯이 A6를 중심으로 난수성 소용돌이가 나타나는데 이는

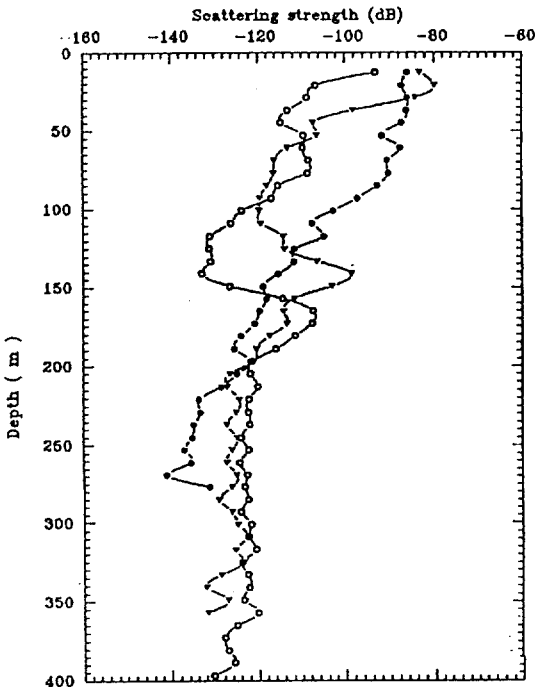


Fig. 9. Vertical distribution of scattering strength at N1, N10 and N20 in the warm-eddy of the East Sea in April, 1993.

형성과정이 아니라 이미 형성된 것이 이동한 형태이므로 산란강도 구조와 수온구조가 최대 형성 수심에서 오차를 보이지만 전체적으로 일치하는 경향을 보이고 있다.

한편 난수성 소용돌이 내에서 산란체의 일주기성 분포를 알아보기 위하여 관측시간이 다른 세 지점에서의 수심별 산란특성을 나타냈다(Fig. 9). 관측시간이 오후 2시인 N1 지역(open circle)의 산란강도 분포는 수심 150~200 m 사이에서 큰 값을 보이고 있으나, 관측시간이 오후 10시인 N10 지역(filled circle)에서는 상층부에서 강한 산란분포 특성을 보이고 있다. 새벽 6시인 N20(triangle)에서는 다시 산란강도가 150 m 이하에서 크게 나타나고 있다. 이러한 산란강도의 분포 양상은 일반적으로 알려진 동물플랑크톤의 일주기성 수직이동과 일치하는 경향을 보이고 있다. 한 지점에서의 연속적인 관측자료가 아니므로 정확한 수직이동을 나타내지는 않지만 같은 물리적 특징을 가지는 수괴이므로 산란체의 수직이동에 유용한 자료로 사용이 가능하리라 사료된다.

이상과 같이 난수성 소용돌이가 형성될 때 이에 따른 산란강도 구조와의 상호 비교를 하였는데 물리적 요소인 수온과 해류를 이용하였다. 그러나 난수성 소용돌이 내에서 산란체로 작용하는 동물플랑크톤에 대한 시공간적인 양적연구가 물리적 요소 관측시 동시에 이루어지지 않았고, 동물플랑크톤의 분포에 영향을 주는 다른 요소-식물 플랑크톤의 존재량, 영양염류의 분포, 생존주기, 생물체 상호간의 먹이관계 등-에 대한 고찰이 이루어지지 않았다. 그러므로 음파를 이용하여 산란체와 수온구조 사이의 명확한 관계를 이끌어내기는 어려우나, 본 연구의 자료관측 기간이 3일의 짧은 기간이므로 이 기간 동안 위의 요소들의 급격한 변화를 보이지 않을 것이라 생각되므로 산란체와 수온, 해류사이의 관계규명이 가능하다고 판단된다.

결 론

동해 중부 해역에서 난수성 소용돌이 형성시 ADCP 자료에 의한 후방산란 강도 구조와 수온 구조와의 상관관계를 규명하였다. 연구결과 소용돌이 내부에서 강한 산란 강도를 보이고 있으며, 수심 200 m까지 형성되어 있다. 후방산란 강도 구조와 수온 구조와의 비교에서 남북단면의 경우 서로 일치하는 양상을 보이고 있다. 남북단면의 경우 동한난류의 유입축이 아니라 유입된 동한난류가 회전을 하는 축이다. 그러므로 수온 구조대로 이미 유입된 산란체들이 높은 수온을 따라 존재하므로 산란강도가 수온구조에 영향을 받게 된다. 그러나 동서단면의 경우 대칭적인 수온 구조와는 달리 산란강도는 동서 비대칭으로 연안쪽인 서쪽에서 강하게 나타나고 있다. 이러한 이유는 동한난류의 유입축으로 해류의 유입과 동시에 산란체인 동물플랑크톤의 이동에 따른 결과라 생각되며 동한난류의 유향 및 유속으로서 설명이 가능하다. 한편 CREAMS' 93 자료 분석 결과 위 결과의 남북단면과 같이 수온구조와 산란강도 구조가 일치하는 경향을 보이고 있는데 이는 이미 형성된 난수성 소용돌이 내의 산란체들이 고수온을 따라 분포하기 때문이라 여겨진다. 또한 산란강도의 일주기성 분포 또한 기존의 직접적인 해양생물 관측에서 알려진 대로, 밤에는 표층에서 낮에는 상대적으로 낮은 하층에서 높게 나타나 음향을 이용하여

생물체의 일주기를 규명할 수 있음을 알았다.

이상의 연구결과를 종합하면 해수중에 존재하는 산란체들의 양적분포는 수온 구조내의 고수온에 크게 영향을 받고 있으며 또한 고온 및 고염인 동안 난류의 유입측에서 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 ADCP의 사용하지 않는 음향자료로 계산된 산란체의 분포 구조와 수온 구조의 상관관계 규명의 가능성으로 인하여 기존에 관측된 ADCP 자료의 사용 영역을 넓힐 수 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구에 사용된 ADCP 자료를 제공해 주시고 많은 조언을 해주신 해양연구소의 김철수 박사님과 생물부의 유신재 박사님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 CREAMS' 93의 수온자료를 주신 서울대학교 김구 교수님, ADCP 자료를 멀리서 보내주신 시모노세끼 대학의 Atsuhiko Isobe 박사님께도 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

- 김복기, 1990. 동해 중부 극전선 해역의 해황. 석사학위 논문, 부산 수산대학교 산업대학원.
 김철수, 1993. 동해에서의 중규모 해황변동에 관한 연구(1차년도). 한국해양연구소 보고서, BSPN 00187-611-1.
 나정열, 1988. 한국동해의 바람응력 분포와 상층구조에

- 대한 적용. 한국해양학회지, 23(3): 97-109.
 나정열, 이성욱, 조규대, 1991. 한반도 근해의 해류 및 해수특성. 한국수산학회지, 24(4): 215-228.
 이해숙, 1988. 한국 동해에서 용존산소 및 영양염류의 분포 결정인자에 관한 연구. 석사학위 논문, 부산 수산대학교 해양학과.
 박주석, 이삼석, 강영실, 허성희, 1991. 한국 동해 중부 해역의 지표성 요각류 및 모악류의 분포와 수괴 특성. 한국수산학회지, 24(3): 203-213.
 팽동국, 1993. 한국 동해에 출현하는 eddy내의 수중음향 특성. 석사학위 논문 한양대학교 지구해양학과.
 나정열, 박정수, 1989. 한국해협에서 ADCP 음파산란 신호를 이용한 동물플랑크톤 분포의 추정. 한국해양학회지, 24: 172-183.
 최재영, 1991. 동해 남부 해역에서의 음향을 이용한 동물플랑크톤의 수직분포에 관한 연구. 박사학위논문, 서울대학교.
 Greenlaw, C. F. 1977. Backscattering spectra of preserved zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.*, 62: 44-52.
 Flag, C. H. and S. L. Smith, 1989. On the use of the acoustic doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Sea Research*, 35: 455-474.
 Holiday, R. E. 1984. Acoustic measurements of zooplankton distribution in the sea. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 41: 226-238.
 MacLennan, D. N. and E. J. Simmonds, 1992. Fisheries Acoustics. Chapman & Hall.
 Penrose, J. D. 1978. Acoustic target strengths of marine organisms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 65: 374-380.
 RD Instruments. 1989. Acoustical Doppler Current Profiler; Principles of Operation: A Practical Primer.
 Urick, R. J. 1983. Principles of underwater sound/3rd ed. McGraw-Hill.