

수산조사를 위한 음향의 응용과 개발

황 두 진/여수대학교

1. 서 론

수산음향은 크게 2가지의 의미로 분류하여 이해할 수 있다. 그것은, 수산조사에 의한 음향의 응용과, 수산조사의 수행에 사용되는 도구로서의 음향수법의 개발이라고 할 수 있다.

본 글에서는, 먼저 몇 가지 기초적 사항, 특히 용어, 파라메타의 범위, 직선성에 대하여 언급하고, 그리고 응용과 개발의 양자에 대하여 전망을 알아보기로 한다. 특히 중요한 문제에 대해서는 새로이 시작한 방법이나 기술에 대한 필요성을 강조하여 서술한다. 수산음향에 의한 최근의 흥미있는 2가지의 토픽은, 공간통계와 크릴의 타게스트렌스(TS)이며 이들에 대한 전망도 알아보기로 하자.

2. 기 초

2.1 용어

어류는 대부분의 경우, 특히 부레를 가지고 있는 경우, 부레가 강력한 음향산란체가 된다. 부레를 가진 어종의 예로서는, 단흰 부레를 가진 대구(*Cod, Gadusmorhua*), 열린 부레를 가진 청어(*Clupea harengus*) 등을 들 수 있다. 이 2종의 부레의 종류를 가진 어종은, 각각, 폐표어(physoclists), 개표어(physostomes)라고 부른다¹⁾. 예를들면 대서양 고등어(*Scomber scombrus*)와 같은 몇 가지의 어종은 부레를 가지고 있지 않아, 같은 크기의 폐표어나 개표어에

비해 매우 약한 에코 밖에 반사하지 않는다.

개개의 고기(단체어)의 에코의 강도는, 일반적으로 TS(변수는 TS)에 의해 표시된다. 그것은 후방산란단면적 σ 의 대수지표, 즉

$$TS = 10 \log[\sigma/(4\pi \gamma_0^2)] \quad (1)$$

이다. 여기서, 기준거리 γ_0 는 가장 일반적으로는 1m이다. 반드시 필요한 것은 아니지만, 평균후방산란단면적 σ 를 생각하면 편리할 때가 많다. 이것에 대응하는 대수지표는 평균 TS라는 것이 있으며, \overline{TS} 라고 표기한다. 이 경우, 평균은 σ 영역에서 구해진다.

사회적 동물로서 어류는, 그 군의 군집형태에 따라서 특징 지을 수 있다. 어체간의 거리가 매우 떨어져 분산되어 있는 경우에 이를 단체어라 하며, 음향적으로도 분해 되어야한다. 또 어군(school)이라고 불리우는 경우는 일반적으로 단체어와 같이 음향적으로 분해되지 않는 경우를 말한다.

어군으로 부터의 에코는, 분산해 있거나 밀집해 있거나, 체적후방산란 또는 잔향의 예로서 취급하면 된다. 단, 고기의 에코는 잡음이 아니고 신호이다. 체적후방산란의 양적인 지표는, 체적후방산란강도 S_V 이며, 이것은 체적후방산란계수SV의 대수지표

$$SV = 10 \log(\gamma_0 S_V) \quad (2)$$

이다. γ_0 가 표시되어 있지 않은 경우, 이것은 SI 또는 MKS의 기준단위가 통상 가정되어 있어,

$\gamma_0 = 1\text{m}$ 이다. 평균마리수 밀도 ρ_v , 평균후방산란단면적 $\bar{\sigma}$ 의 어군에 대해서는

$$S_v = \rho_v \bar{\sigma} / (4\pi) \quad (3)$$

이다.

2.2 파라미터의 범위

여기에서는 수산음향에서 통상 취급하는 파라미터의 범위를 분야별로 명확하게 해 둘 필요가 있다.

매체 해수와 담수를 고려하여 수온은 0 ~ 30℃의 범위, 음속은 1400~1550m/s의 범위에 있다.

송수파기 송수파기는, 주파수 ν , 파장 λ , 직경 또는 최대크기 $2a$, 양측 -3dB의 레벨로 측정된 편도 빔폭 $\Delta\theta$, 파워 P , 펄스폭 τ , 상대펄스폭 길이 $c\tau/\lambda$, 상대수신대역폭 $\Delta\nu/\nu$ 에 의해 특성이 결정된다. 전형적 응용에 사용되는 송수파기의 통상의 파라미터 범위를 나타낸 것이 다음과 같다.

〈표〉 송수파기 파라미터의 통상의 범위

파라미터	통상의 범위
ν	20 ~ 200 kHz
λ	0.7 ~ 7cm
$2a$	2 ~ 50cm
$\Delta\theta$	1 ~ 20°
P	10 ~ 1000W
τ	0.1 ~ 10ms
$c\tau/\lambda$	10 ~ 50
$\Delta\nu/\nu$	0.01 ~ 0.1

샘플 체적 $\Delta\theta = 5^\circ$, $\tau = 1\text{ms}$ 의 원형 송수파기의 경우, $c = 1500\text{m/s}$ 를 가정하면, 계략의 순간샘플링체적은, 체적 $V_s \approx \gamma^2 / 200$ 의 원추대이다. 여기서, γ 은 레인지이다. 10m에서는 $V_s \approx 0.5\text{m}^3$, 500m에서는 $V_s \approx 1200\text{m}^3$ 이다.

어류 상기의 상업적으로 중요한 어종에 대해

서는 전형적인 체장은, 대구의 경우 100cm, 청어의 경우 40cm, 대서양 고등어의 경우 50cm라고 취급하고, 고기의 육질과 뼈의 비중은 대략 1.05이다. 부력은 중력과 평균한 어류의 부레의 체적은, 일반적으로 전체 체적의 5 ~ 10%이다. 성어의 부레전장은 고기의 전장의 약 1/3이다. 이러한 대표적 어종과 다른 어종의 파라미터에 대해서는, 문헌 1에 정리되어 있다.

어류의 TS 이것은 보통 회귀식

$$\overline{TS} = 20 \log l + b \quad (4)$$

에 의해 체장 l 과 관계가 있다. 여기에서, \overline{TS} 는 σ 로부터 유도된 평균 TS로 나타낸다. 참대구와 같은 대구류에 대해서는, b 의 일반적인 값은 38kHz에서 약 -68dB이다. 노르웨이의 봄에 산란하는 청어는, $b = -72\text{dB}$ 이다. 대서양 고등어에 대해서는, b 는 -90dB에서 -80dB의 범위에 있다. 최대등방향 TS는, 상업적으로 중요한 고기에 대해서, 초음파주파수에서 약 5dB 평균보다 높다. 총괄적인 전망은 古澤에 의해 정리되어 있다.

어군 전형적인 크기는, 수평면내에서 5 ~ 5000m, 연직면내에서 10 ~ 200m의 범위이다. 분포밀도는 보통 0.01 ~ 10마리/ m^3 이다.

2.3 직선성

엄밀한 음향학적 의미에서는 직선성은, 많은 음원 또는 산란체의 집합에 의한 음압은 각요소의 음압의 합이라는 특성이 있다. 엄밀한 의미에서의 직선성을 위한 조건은, 수산조사에 의한 음향학적인 응용에서는 거의 대부분의 경우 만족한다.

어류의 집합에 의한 음향산란에 관해서는, 직선성은 특별한 의미를 가진다. 즉, 고기의 집합으로부터의 에코의 전에너지는, 개개의 에코 에너지와 기여의 합이다.消散에 대한 보정을 하는 경우 이외는, 혹시 다른 어종이 없는가 하는 것과 같은 것을 생각할 필요도 있다. 에코에너지에 대한 직선성의 이 표현은, 소위 랜

덤 위상근사에 의해 근거를 들 수 있다.

고기에 의한 에코형성에 의한 직선성은, 1980년의 여름, 베르겐의 서쪽의 Sotra라는 섬의 Skogssvaagen에서 행하여진 실험에서 확인되었다2). 이 실험 방법은 다음과 같다. 즉, 케이지 체적 0.7m³당 10에서 40마리의 밀도로써 케이지에 넣어진 평균체장 27cm의 청어의 어군으로 부터의 에코에너지의 측정과 동시에 수중사진에 의한 고기의 경사각(어체의 장방향 중심선을 수평으로 하여 그때 기울어진 각도)의 측정 및 마취한 청어의 샘플에 대한 TS의 경사 특성의 측정 등이다. 이와 같이 관찰된 경사각 분포를 가정하여, 단체어의 TS 측정결과를 이용하여 계산한 전에코에너지의 추정치는, 직접 측정의 결과와 일치하였다.

Lee등3)도, 케이지에 넣어진 고기에 대해서, 체적후방산관계수와 분포밀도의 관계의 직선성을 관찰하였다. 대상으로 한 어종은, 평균체장 15.5cm의 붕어(*Oncorhynchus nerka f.adonis*)였다. 분포밀도는 약 25에서 100마리/m³의 범위에서 밀도의 변화에 따라 측정되었다.

3. 생물학적 응용

다음은 생물학적인 면에서 7종의 응용을 간단히 서술하고자 한다. 좀 더 상세한 것에 대해서는 문헌4를 참조하기 바란다.

3.1 탐지와 거리

가장 기본적인 응용은, 에코의 측거이다. 그것은, 수중의 어느 층에 고기가 있고, 어느 정도의 집합상태에 있는가 하는 기본적인 지식을 필요로 하는 어군탐지나 그 이외의 목적으로 넓게 사용된다.

3.2 어군추적

군의 움직임을 결정하는 것은, 어구나 어법을 개발하기 위해서는 특히 중요하다. 소나에 의한 어군의 관측과 같은 음향에 의한 관측은, 가장 넓게 사용된 추적 방법의 한 예이다.

3.3 크기측정을 포함한 식별

어종식별과 크기측정을 위한 원시적인 방법은, 어구에 의한 물리적 포획이다. 이 방법은 대상이 단일의 경우를 제외하고, 일반적으로는 어종에 대한 식별정보는 충실하지 않다. 최근에는 음향에 의한 식별에 기대가 모여지고 있다.

3.4 어군량 추정

많은 수산 자원에 대해서 음향측정은 어군량을 결정하는 최선의 방법이다. 그것은 넓은 범위를 비교적 빠르게 전체적으로 파악하는 것이 가능하고, 그를 위해 어기의 개시전과 같이, 시기에 맞춘 자원 평가를 가능하게 한다.

3.5 행동의 연구

고기의 여러 행동 중에서 음향에 의해 연구된 것은, 일주운동, 자세, 자극에 대한 반응, 어군구조, 유영속도 등이다.

3.6 해저생식환경의 특징파악

저서어가 특성의 해저종류를 좋아하는가를 파악하는 것은 어렵지 않다, 발틱해의 대구의 경우와 같이, 해저 생식환경과 대구의 서식에 관한 명백한 조사결과가 있다5). 음향기술은, Orłowski의 방법6)에 의해, 신속하고 원격적인 수단을 이용하여 해저의 종류를 결정할 수 있게 되었다.

3.7 트롤계측

어군탐지기와 소나를 트롤에 붙이면, 트롤의 형상과 그 움직임을 정량적으로 알 수가 있고, 그것과 동시에 트롤 내에, 혹은 가까운 어류의 움직임도 관찰된다. 음향은 나아가, 심도나 어획량과 같은 다른 트롤데이터의 전송수단에도 사용된다.

4. 장치와 기술

모두 11가지의 장치와 기술을 간단하게 서술한다. 좀 더 구체적인 내용은, 문헌4의 참고하

기 바란다.

4.1 어군탐지기

이 기본적인 장치는, 어업과 수산조사의 양 쪽에서 잘 알려져 있다. 어군탐지기의 설계에 대해서는 Furusawa7)가 상세하게 서술하고 있다. 계량용어군탐지기의 최근의 2가지의 예로서, 듀얼 빔을 이용한 총합계량어탐시스템 (VESS)8)와, 스프리트 빔 송수파기를 탑재한 Simrad사의 EK500형 계량어탐 시스템을9) 들 수 있다. EK500형 계량어탐 시스템에서는 3대까지의 송수파기의 동시사용을 가능하게 하고, 각 스프리트 빔 송수파기에 의한 에코 적분과 TS추출의 동시 처리가 가능하다. 이 어탐의 공칭 다이내믹 레인지는 160dB이며, 작은 에코와 강한 에코의 양자를 같은 에코 그래프상에서 표시할 수 있다. 이로 인해 평균체적후방산란강도의 포화를 염려할 필요가 없으며, 플랑크톤과 해저에코를 동일 에코 그래프상에서 통합하여 표시할 수 있다. 해저 판별은 특징있는 시스템에서 행하여져, 먼저 많은 후보가 되는 에코가 자동적으로 선별되어, 그 후에 특징에 의해, 해저로 보여지는 것이 해저로서 식별된다. TVG처리는 소프트웨어에서 행하여져, 사용자가 임의의 음속 프로파일을 지정할 수 있는 기능이 있다.

4.2 소나

소나의 정성적인 이용에 대해서는 잘 알려져 있다. 분포밀도 계측에 관해서도, 수신기 중에 AGC를 사용하기 위해서 최근까지 정상적 사용이 불가피하였다. 95kHz를 사용하는 Simrad사의 SA950형 소나는, 몇가지의 다른 거리 보정함수를 가지고 있어, 정량적 계측이 가능하게 되었다. 실제로, 그 소나는 고기가 어군을 이루고 있는 경우의 음향조사에 사용을 시도하고 있다.

4.3 에코계수

개개의 고기의 에코가 분리 가능한 조건 내에서, 이 에코계수가 가능하다. 관찰체적 또는

샘플링 체적과 관계를 지우면 고기의 마리수밀도가 결정된다.

4.4 에코 적분

이것은, 고기의 분포밀도를 측정하기 위해서 가장 넓게 사용하고 있는 음향수법이다. 에코적분은 가장 엄밀한 의미에서는 다음식과 같은 체적산란계수를 어떤 수심범위에서 적분하는 수학적 조작을 의미한다.

$$S_a = \int_{z_1}^{z_2} S_v dz \quad (5)$$

여기서, S_a 는 무차원의 면적후방산란계수이다. 동일한 의미와 관련한 양으로서,

$$S_A = 4\pi 1852^2 S_a \quad (6)$$

이었다. 이것은 평방해리당의 후방산란단면적의 단위로서 평방미터라고 하는 단위를 가진다 (11). 상업적으로 중요한 어종에 대해서는 보통의 값이 $1-10^6 m^2/NM^2$ 의 범위가 되기 때문에 이것은 특히 편리하여, 통상의 표현으로 정수를 이용할 수가 있다.

S_A 값 보다 보다 더 생물적인 지표인 분포밀도로 변환하는 데는 에코적분의 기본적인 식

$$S_A = \rho_A \bar{\rho} \quad (7)$$

가 사용된다. 여기에서 ρ_A 는 단위면적당의 고기의 분포밀도, $\bar{\rho}$ 는 평균후방산란단면적이다.

에코적분은 수학적 처리를 가리키지만 그것은 또 어군의 밀도를 S_A 에 의해 측정하여, 그 수치를 대상으로 하는 어종과 체장 조성으로 나누어, 대응하는 ρ_A 를 계산하여, 이와같이 해서 얻은 값을 데이터 베이스에 수록하는 것과 같은 일련의 조작도 의미한다.

베르겐 에코적분기(BEI)는, 어탐데이터의 후처리를 위해 개발된 새로운 시스템이다.12) 그것은 국제 비소유권 표준만 사용했기 때문에 기본적으로 기종에 의존하지 않는 소프트웨어에서 실현되도록 되어 있다. 이것들은 UNIX 오퍼레이션 시스템에서 C프로그래밍 언어, X윈도우 시스템, 관련하는 데이터 베이스와 함께 사용하

기 위한 구조화 작업언어(SQL), TCP/IP를 포함한다. 데이터는 로컬에리어 네트워크(LAN), 즉 이더네트를 통해서 워크스테이션 상에서 실행하는 BEI에 전송된다. 개발의 기본적인 목표는 시스템은 사용자가 모두 중요한 결정을 행하는 것을 가능하게 하여, 사용하기 편리하고 확장이 가능하여 간단하게 문서화할 수 있게 되어 있다. BEI의 몇가지의 특징을 나타내어 보면 대화형 그래픽을 이용하는 것에 의해 에코적분이 임의의 선으로 그려진 범위에서 가능하다. 어탐기의 전처리 장치에서 일어난 실수 예를들면 Noise threshold 레벨의 조정이나, 검지된 해저의 재정의 등에 의해 수정할 수가 있다. 몇가지의 다른 칼라법을 사용하고 있기때문에, 다른 종류의 산란체를 분리하는 경우에 신호의 크기와 형태를 식별하기에 편리하게 되어 있다.

4.5 복수빔 어군탐지기

복수소자 송수파기를 가진 어군탐지기를 사용하면, 검지된 단체의 대상의 위치를 결정하는 것이 가능하다. 이것을 알면 다음에 빔패턴의 보정과 TS의 계산이 가능하게 된다. 다소자 어군탐지기의 가장 기본적인 것은, 듀얼 빔과 스프리트 빔 송수파기를 이용하는 것이다.

4.6 타겟 스트렌스 해석

어류의 TS를 결정하는데는 많은 방법이 있다. 자연상태 계측기술에서는 복수빔 어탐기 또는 음향과 사진 관찰을 함께 이용하는 직접법과 이외의 방법인 간접법의 2가지가 있다. 단일의 반사체에 간접법을 적용하는 경우 통계해석에 의해 빔 패턴의 영향을 제거한다. 제어상태기술은 케이지를 사용하는 경우와 같이 대상의 행동이 제한 되어있다는 특성상의 대상이 무엇인지, 어떤 자세인가를 명확하게 가능하게 하는 이점이 있다. 실로 고정시킨 단일어체에 대한 측정이나, 형태의 지식에 근거를 둔 계산은, 제어상태기술의 다른 예가 있어, 타의 방법과 함께 TS, 즉 에코 적분의 기본식에 의한 σ 의 이해에 기여하고 있다.

4.7 식별기술

4가지의 기술을 들 수 있다. 판별분석은 통상의 단일빔 어탐기의 데이터로부터 어종을 식별하는 것으로, 때에 따라서는 충분히 이용할 수가 있다. 광대역 또는 복수 주파 에코의 스펙트럼 해석은 식별을 가능하게 할런지는 모르겠지만, 이것에 관한 연구는 적기 때문에 타당한 판단을 내리는 것은 아직 이르다. 이미지 기술은 어체의 사이즈에 대한 정보를 제공하는 것에 성공하였지만, 현재는 제어상태의 경우에만 한정되어 있다. 공진의 측정은 유포어의 사이즈 계측을 가능하게 하지만 약 20cm이상의 고기의 식별에는 유용하지 않다.

4.8 도플러 계측

에코의 중심주파수를 송파한 협대역 신호에 대해서 관측하면 접근하거나 또는 멀어질 때의 상대적인 스피드를 계측할 수 있다. 이 기술은 단체어와 어군의 양자에 적용되어 왔다.

4.9 消散단면적

몇 종의 회유어에서는 입사파와 고기의 에코 사이에 消散의 문제가 되는 분포밀도와 수직방향의 두께를 가진 군의 형성 등이 있다. 체적후방산란의 해석에 의해서 消散의 영향을 명확하게 하여 역연산으로 그것을 보정하는 것이 가능하다. 이 방법은 노르웨이의 봄에 산란하는 청어가 큰 군을 형성하여 월동하는 경우의 음향조사에서 적용되었다. 케이지내의 고기에 의한 消散현상의 광범위한 실험적 연구는 消散단면적의 지식을 얻는데 공헌하고 있다.

4.10 해저 2중 에코 해석

1회째의 해저반사 에코는 해저의 딱딱한 정도 보다는 형태의 쪽이 잘 나타나지만, 해저 2회 반사파는 형태보다는 딱딱한 정도쪽이 보다더 민감하게 나타난다. 이 2가지의 에코에너지를 비교하는 것에 의해 해저의 단단한 정도의 지표가 얻어져 이것은 해저 서식환경의 원격 특성 파악에 관련한 연구에서 실험적으로 확인되었다.

4.11 음향표식

어류의 생리와 행동특성에 관한 자연상태에서의 정보를 얻는 가장 중요한 수단은 표식이 다. 이것을 생리와 행동의 데이터를 음향으로서 해면의 센서에 전달한다. 2종의 방법이 있으며 한가지는 내부 Clock으로 전송하는 핑거이며, 또 하나는 질문신호에 따라서 전송하는 트랜스폰터가 있다.

5. 중요한 문제점

지금까지의 서술에서 보는바와 같이 수산음향에는 아직까지 해결되어있지 않은 문제점이 있다. 몇가지를 예를들면, 해저판별과 저서어식별, 음향에 의한 어종식별, 소나에 의한 어군량추정, 해저의 타입의 분류등이 있다. 현단계에서의 해결책은 가능성은 충분히 있으나 아직 완전하지는 않고, 적어도 검증이 필요할 뿐만 아니라, 많은 개발이 필요하다고 생각된다.

다음에 서술하는 2가지의 비교적 새로운 조사 방법은 아직 시험해보지 않았지만 여기서 소개해 보고저 한다. 첫번째는 부채형의 빔섹터 14)나 섹터 스캐닝소나와 같은 다수의 어탐빔에 의한 조사이며, 이것은 통상의 조사를 행하는 한편에 어류의 도파반응의 문제를 검토하는 보조역할이 될것이다. 또 한가지의 방법은 복수주파수에 의한 조사이다. 복수주파수에서의 에코 적분은 어떤 주파수에서의 결과의 신뢰성을 높임과 동시에 다른 주파수에서 평가하는 정보를 제공하는 것이 가능하다.

바다에 있어서 해상 조건은 자주 나쁘게 되고, 표층의 기포가 선저장비의 송수파기에 의한 송파신호와 수신신호에 영향을 미치고 5m의 깊이에 송수파기가 설치되어 있어도 매우 큰 감쇄를 일으킨다. 기포에 의한 감쇄와 보정은 특히 중요한 문제이다. 기포감쇄에 수반하는 문제는 송수파기를 충분한 깊이에서 예방하면 회피할수가 있지만 악천후시에는 투입과 회수가 곤란하기때문에 이 방법은 때때로 불가능하다.

단일 송수파기는 강체에 넣어 예방하는 방법

과 더불어 수중의 관측범위를 넓히기 위해 빔을 임의의 방향, 특히 수면을 향하게 상방향으로 하거나, 배의 항적으로부터 떨어진 방향으로 향하게 하는 소나를 예방하는 방법도 중요한 기술적 도전이다.

또, 한가지의 기술적 도전은 아주 작은 동물 플랑크톤 계측용 다주파 시스템을 만드는 것이다. 예방 소나와 같이 송수파기 부근의 신호처리와 데이터의 수록 또는 전송이 중요한 문제가 된다. 古澤등15)에 의해 개발된 2주파 다목적 계량어탐 시스템과 simrad사의 3주파의 EK500 계량어탐시스템에서 얻어진 경험은 이 처리 방법에서 힌트를 얻은 것이다.

선박방사잡음은 고가의 회피 반응을 일으키는 주요한 요인이다. 방사잡음을 계속하는 기술은 있지만, 일반적으로 표준화되어 있지 않고, 매우 고가의 설비를 요하여, 따라서 빈번하게 실시할 수 없다. 그러나 森田등16)에 의해 보고된 방법은 상기의 문제를 극복할런지도 모른다. 이와 같이 잡음에 관해서는 여러가지 새로운 연구발표가 행하여지고 있다.

초점을 맞추는 송수파기나 어떤면 내에서의 에코음장의 역변환이 되는 단체어의 영상화는 고도로 제어된 조건에서만 유효하다. 이것을 자연상태에서 사용할 수 있을 정도의 시스템이 된다면, 이것은 매우 유효한 음향카메라가 될 것으로 생각되지만, 이것은 현재의 기술로는 경제성이 거의 없다.

패시브 음향을 사용하면, 복수빔시스템으로 주위 잡음에 의한 잔향을 조사하는 등에 의해, 산란체의 존재를 발견할 수 있을 것이다. 이 기술은 수산조사에서는 아직 사용하고 있지 않다.

6. 지오스탯릭스(Geostatistics)

6.1 서론

geostatistics란 공간적 현상의 구조를 기술하여 추정을 행하는 일종의 통계적 수법의 학문과 응용으로 정의 되어진다. 그 원류는 샘플링이 불완전한 영역에서의, 공간적 현상의 추론을

위해 모델이 필요하게 되었다. 응용분야의 예로서는 광산업, 석유나 가스 자원개발, 수자원관리, 농업, 임업 등이 있으며, 가장 최근에는 패류를 포함한 수산에 있어서 생물자원의 관리 등에도 사용되고 있다. 응용에 적합한 분야는 큰 스케일에서 소스케일로 변환하는 공간적 분석이다.

통상의 통계적 모델은, 결정론적항 또는 면에 구조를 할당하여, 오차 항에는 랜덤성을 할당한다. 이것에 대해서 geostatistics에서는, 랜덤성을 현상의 고유의 부분으로 본다. 랜덤성을 상관에 의해 모델화 할 수 있다. 특히, 위치벡터의 함수로서의 지역화 변수(regionalized variable) $Z(x)$ 는 확률함수로서 모델화된다. 여기에서는 그 정상성에 의해 정의된다. 많은 공간적 현상에 대해 고유의 가정이 적용된다. 이것에 의하면, 2점에 의한 변수의 차의 기대치와 분산의 양자가 존재한다. 나아가,

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \quad (8a)$$

또는

$$E[Z(x+h) - Z(x)]^2 = 2\lambda(h) \quad (8b)$$

이다. 여기에서 E 는 기대치를 갖는 것을 의미하며, γ 와 벡터거리 h 에만 의존하는 바리오그램으로(variogram)정의된다.

variogram은 geostatistics의 중요한 도구이다. 그 원점 가까이의 구조는, 현상의 연속성의 정도 또는 결합 정도를 명시하여, 일반원점으로부터 떨어진 곳에서의 그 할당은, 그 현상의 범위를 표현한다. 관련성의 구조 또는 넓은 영역에서의 조직성의 정도가 variogram에 의해 명확하게 될 것이다. 공간적 현상에 의한 비균질성도, 예를 들면 수괴의 층화와 같이 variogram을 통해서 모델화할 수 있을 것이다.

geostatistics에서는, 예를들면 일반화 공분산이라고(generalized covariance)하는 타 도구도 사용한다. 비선형의 모델에서는, 선택적으로 확률함수 모델이 사용된다. 소위 과도이론(transitive theory)에서는, 지역화변수는 확률

변수에 무관계하게 모델화 된다.

전해역에 관한 추정은, 조사영역에서 일정 또는 계통적으로 수집된 샘플에 의해, 전체로서 행하여진다. 이와 같은 경우, 많은 현장에 대해서, 샘플의 산술평균이 전역의 평균치의 최량불편추정치가 된다. 추정치의 분산은 variogram의 평균의 결합에 의해서 표시되어진다. 즉,

$$\sigma_{E^2} = 2\overline{\gamma}_n - \overline{\gamma}_n - \overline{\gamma}_v \quad (9)$$

여기서, t 는 예를들면 조사선에 인접한 위치 또는 트롤위치등의 샘플링 위치를 나타내고, v 는 추정이 행하여져 있는 조사하면 또는 수괴를 나타낸다. 평균은 t 및 v 의 영역을 나타내는 모든 점에 대하여 행하여진다.

geostatistics는, 크리깅(kriging)이라고 불리는 기법을 사용해서, 점추정의 문제에도 적용할 수 있다. 공간현상이 비정상적일 때, 즉 고유의 가정이 성립하지 않을 때는, 그 표현을 위해 다른 방법이 있다. 그것은, 보통 kriging과 k 위의 고유 확률변수를 이용하여, 증가분의 선형결합에 의해 드리프트를 제거한다. 기초적으로 손에 넣기 쉬운 Cressie의 참고서가 있다.17)

6.2 수산조사 데이터에의 적용

수산조사 데이터에 geostatistics를 적용하기 위해 기본이 되는 조건은 어군이 공간적 구조를 가진 것이다. 어군에 대한 생물학적 지식이 조금이라도 있으면, 이것이 사실이라는 것을 확신할 수 있다.

1985년의 Gohin에 의한 파이오니어적 연구(18)이후, 패류나 어류에의 geostatistics의 많은 응용이 문헌에 나타났다.

최근의 연구에서는, 어떤 필드에서 활동하는 노르웨이의 춘기산란 청어의 자원량이 결정되었다.19) 이 연구의 주된 점을 들어보자. 이 필드를 Simrad사의 EK500 계량어탐기에 의해 음향조사 하였다. 질게 분포하고 있는 곳은, 다시 보다 정밀한 스케일로, 일정하게 조사하기 위해 계통적 설계법으로 조사하였다. 어탐 데이터는 베르겐 예코 적분기로서 해석하였다. 면적

후방산란계수의 값 S_A 는 수평분해능 0.1NM, 수직분해능 10m로서 수록하였다. 이 값에는 소산에 의한 감쇄의 보정을 하고, 다음에 수심방향으로 적분하였다. 위치와 분해능에 대해서는 피할 수 없는 불확실성이 있는데, 이 값을 0.2NM의 변을 가진 사변형 위에서 평균하였다. 이 블록 평균 평균치를 상기의 방법에서 평균한다. 실험적 variogram을 계산하여 모델화한다. 모델 variogram을 조사선의 위치와 조사영역에서 평균하여 추정치의 분산을 구한다. 에코 적분의 기본식에 의하면, 청어의 자원량은 2.93×10^9 마리로서, 표준편차로 표시한 정도는 $\pm 20\%$ 이다.

Simard등에(20) 의한 또 한가지의 최근의 응용도 회유어에 대해서 행하여졌다. 전해역 평균의 문제의 고찰에 더해지고 kriging에 의해 맵핑 또는 점추정이 행하여지고 있다. 해석을 위해 보조 변수를 맞추어 사용하는 것도 검토되고 있다.

7. 크릴의 TS

1987 ~ 1988년의 남반구의 하기에, 「크릴 TS 실험」이, 남극해의 남조지섬에서 행하여졌다. 21) 케이지에 넣은 자연의 그대로의 조건에서 남극크릴(*Euphausia superba*) 군을 15부터 65시간의 시간주기에 걸쳐서 38과 120kHz에서 음향측정했다. 케이지중의 크릴의 수는 알고있기 때문에 케이지 면에서의 빔 패턴에 대한 군의 수평적인 방사에 의한 오차를 허용하면 TS는 에코적분의 결과로부터 구할수가 있다. 이 실험중에 측정한 크릴의 몸의 음속과 밀도를 파라미터로서, 액상구체 모델을 적용한 결과, 부분적으로 적합하였다. 크릴의 TS가 이전에 믿어왔던 것보다 매우 낮다(22)고 하는 이 실험의 중요성으로 부터 나아가 모델화가 되었다. Stanton의 변형원통 모델(23)을 이용하여 2주파의 각각에 대해 자세의 경사각의 목표범위를 상정하여, TS의 추정을 행하였다. 추정과 실측의 가장 좋은 일치를 5분 주기의 각 에코 적분

결과로부터 찾아서 관측하지 못한 크릴의 군의 자세분포를 결정하였다. 실제로는 그 결정을 각 측정시리즈의 몇 시간에 걸쳐 행하여져 있으므로 자세의 시간적 추이가 추정되었다. 결과로서의 TS의 추정치는 실험과 매우 잘 일치하여 결과의 신뢰성을 높일 수가 있었다. 이 연구는 Chu등(24)이 정리하였다.

8. 결 론

선박검사기술협회의 무궁한 발전을 기원하는 바입니다. 아울러 이 글은 노르웨이의 해양조사연구소의 Kenneth G. Foote박사님의 일본음향학회의 초청으로 학회에서 강연하신 내용의 요지를 간추려 정리하였습니다. 수산음향에 있어서 응용과 개발의 과거와 미래를 일목요연하게 정리한 내용이었습니다만, 저자의 아둔함으로 잘 표현되지 않은 부분도 많으며, 다소 전문용어의 표현이 있어 이해하시기에 어려운 부분도 있으리라 생각합니다. 추후 음향기술의 발전이 우리나라 수산업의 발전에 크게 기여할 수 있도록 기원하면서 이 글을 마치고자 합니다.

참 고 문 헌

- 1) M. Furusawa, "Bubbles and underwater sounds - Swimbladder scattering by fish," J. Marine Acoust. Soc. Jpn. 16 (4), 181 - 197 (1989).
- 2) K. G. Foote, "Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems," J. Acoust. Soc. Am. 73, 1932 - 1940 (1983).
- 3) L. J. Lee, T. Suzuki, and K. Iida, "The relationship between acoustic backscattering strength and density of fish in a net cage," Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 38 (3), 253 - 258 (1987).
- 4) K. G. Foote, "Application of acoustics in fisheries, with particular reference to signal processing," in Acoustic Signal Processing

- for Ocean Exploration, edited by J. M. F. Moura and I. M. G. Lourtie (Kluwer Academic, Dordrecht, 1993), pp. 337 - 390.
- 5) A. Orłowski, "Application of acoustic methods to correlation of fish density distribution and the type of sea bottom," *Proc. IOA* 11 (3), 179 - 185 (1989).
 - 6) A. Orłowski, "Application of multiple echoes energy measurements for evaluation of sea bottom type," *Oceanologia* 19, 61 - 78 (1984).
 - 7) M. Furusawa, "Designing quantitative echo sounders," *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 26 - 36 (1991).
 - 8) M. Furusawa, Y. Takao, K. Sawade, T. Okubo, and K. Yamatani, "Versatile echo sounding system using dual beam," *Nippon Suisan Gakkaishi* 59 (6), 967 - 980 (1993).
 - 9) H. Bodholt, H. Nes, and H. Solli, "A new echo-sounder system," *Proc. IOA* 11 (3), 123 - 130 (1989).
 - 10) O. A. Misund and A. Aglen, "On the shape, size and density of North Sea herring schools as mapped by echo integration and accurate sonar projection," *Counc. Meet. Int. Counc. Explor. Sea* 1993 / B : 16, Copenhagen, Denmark.
 - 11) H. P. Knudsen, "The Bergen Echo Integrator: an introduction," *J. Cons. Int. Explor. Mer* 47, 167 - 174 (1990).
 - 12) K. G. Foote, H. P. Knudsen, R. J. Korneliussen, P. E. Nordbo, and K. Roang, "Postprocessing system for echo sounder data," *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 37 - 47 (1991).
 - 13) M. Furusawa, K. Ishii, and Y. Miyano-hana, "Attenuation of sound by schooling fish," *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 987 - 994 (1992).
 - 14) K. Iida and T. Suzuki, "High resolution fan-beam echo sounder," *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 38 (4), 384 - 392 (1987).
 - 15) M. Furusawa, H. Suzuki, and Y. Miyano-hana, "A multipurpose quantitative echo sounding system," *J. Marine Acoust. Soc. Jpn.* 16 (2), 26 - 37 (1989).
 - 16) K. Morita, K. Miruhashi, and T. Nakanishi, "Applications of the acoustic intensity measuring method to underwater noise-measuring under water noise radiated by a ship," *J. Marine Acoust. Soc. Jpn.* 14 (3), 41 - 49 (1987).
 - 17) N. Cressie, *Statistics for Spatial Data*, (Wiley, New York, 1991).
 - 18) F. Gohin, "Planification des experiences et interpretation par la theorie de variables regionalisees: application a l'estimation de la biomasse d'une plage," *Counc. Meet. Int. Counc. Explor. Sea* 1985 / D:3, Copenhagen, Denmark.
 - 19) K. G. Foote, "Abundance estimation of herring hibernating in a fjord," *Counc. Meet. Int. Counc. Explor. Sea* 1993/D:45, Copenhagen, Denmark.
 - 20) Y. Simard, D. Marcotte, and G. Bourgault, "Exploration of geostatistical methods for mapping and estimating acoustic biomass of pelagic fish in the Gulf of St. Lawrence : size of echo-integration unit and auxiliary environmental variables," *Aquat. Living Resour.* 6, 185 - 199 (1993).
 - 21) K. G. Foote, I. Everson, J. L. Watkins, and D. G. Bone, "Target strengths of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at 38 and 120 kHz," *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 16 - 24 (1990).
 - 22) I. Everson, J. L. Watkins, D. G. Bone, and K. G. Foote, "Implications of a new acoustic target strength for abundance estimates of Antarctic krill," *Nature* 345, 338 - 340 (1990).
 - 23) T. K. Stanton, "Sound scattering by cylinders of finite length. III. Deformed cylinders," *J. Acoust. Soc. Am.* 86, 691 - 705 (1989).
 - 24) D. Chu, K. G. Foote, and T. K. Stanton, "Further analysis of target strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120kHz : Comparison with deformed cylinder model and inference of orientation distribution," *J. Acoust. Soc. Am.* 93, 2985 - 2988 (1993).