인공어초 어장에서 수록한 음향학적 다차원 데이터 해석을 위한 GIS의 응용

강명희* · 中村 武史¹ · 濱野 明¹

Myriax Software Pty Ltd, ¹일본수산대학교 해양생산관리학과

The application of GIS in analyzing acoustical and multi-dimensional data related to artificial reefs ground

Myounghee KANG*, Takeshi NAKAMURA¹ and Akira HAMANO¹

Myriax Software Pty Ltd, Hobart, Tasmania, 7000, Australia.

¹Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University, Shimonoseki, Yamaguchi, 759-6595, Japan.

This study is for the multi-dimensional analysis of diverse data sets for artificial reefs off the coast of Shimonoseki, Yamaguchi prefecture, Japan. Various data sets recorded in artificial reefs ground were integrated in new GIS software: to reveal the relationships between water temperature and fish schools; to visualize the quantitative connection between the reefs and the fish schools; and to compare the seabed types derived from two different data sources. The results obtained suggest that the application of GIS in analyzing multi-dimensional data is a better way to understand the characteristics of fish schools and environmental information around artificial reefs and particularly in the evaluation of the effectiveness of artificial reefs.

Keywords: Artificial reef, GIS, Multi-dimensional analysis, Three-dimensional visualization

서 론

200해리 배타적 경제수역 설정이 세계적으로 정착되어감에 따라 일본은 여러 지역에서 연안 어장의 고도이용과 수산자원을 효과적으로 관리하기 위해 인공어초 조성사업을 적극적으로

수행하여 왔다 (Kakimoto, 2004). 인공 어초의 주요한 역할은 광범위하게 산재되어 있는 어군을 집중시켜 생산효과를 높이는 것뿐만 아니라, 서식지 보호와 회복 및 수산자원 보존과 육성을 도모하는 데 있다 (Jensen, 2002; Relini et al., 2002;

*Corresponding author: kang@myriax.com, Tel: 61-3-6231-5588, Fax: 61-3-6234-1822

Seaman, 2002). 인공어초 어장을 조성하기 위해서는 해양환경의 영향과 어업 생산량의 변화 및 생물의 다양성 등 해양생태계에 대한 모니터링이 필요하다 (Hamano et al., 2005; Nakamura and Hamano, 2009). 특히, 해양생태계를 이해하기 위해서는 생물정보뿐만 아니라 이와 관련된 해양환경 정보에 대한 평가가 선행되어야 한다 (Iida et al., 1995). 또한, 인공어초의 설치 효과를 정량적으로 평가하기 위해서는 인공어초에 분포한 어군의 시·공간적인 분포와 행동특성 및 군집 밀도를 정량적으로 추정하고 평가하기 위한 방법이 먼저 구축되어야 한다. 그러나 인공어초 주변의 생물 및 해양환경에 관한 다양한 정보를 연속적으로 수집하여 공간적인 위치 정보를 토대로 이들의 관계를 정량적으로 분석하는 데에는 많은 어려움이 있다. 이것은 어초에 군집한 어군이 복잡한 해양환경의 영향을 받아서 3차원적으로 그리고 단시간에 이동하기 때문에 어군의 공간적 규모와 분포범위 및 시간을 추정하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 또한 생물정보와 해양환경 정보의 데이터 형식과 시·공간의 규모가 다르므로, 이러한 데이터 상호간의 관계를 종합적으로 처리하고 해석하는 데 많은 어려움이 있었다 (Hamano et al., 2000; Hamano et al., 2001).

그러나 최근에는 IT 및 계측기술의 발전으로 수산해양 분야에 있어서도 관련 정보의 처리기술이 비약적으로 향상되었다. 해양 생태계 및 생물 다양성에 대한 연구는 CTD센서, 비디오와 스테레오 카메라, 다양한 음향 시스템, 네트 샘플링 시스템 등 많은 장비 보급으로 세계 여러 나라에서 매우 활발하게 진행되고 있다 (Axelsen et al., 2001; Maury and Gerlotto, 2007; Paramo et al., 2007; Ryan et al., 2009). 첨단 계측 장비로부터 수집되는 방대한 시간과 공간적인 데이터를 처리하기 위해서는 이들 데이터를 고속으로 처리하여 기능별로 분류한 후 목적에 따른 도표화를 통해 처리결과를 집약하여 제시하기 위한 도

구가 필요하게 되었으며, 그 도구 중에 하나가 GIS (Geographic Information Systems)이다. GIS는 최첨단 IT기술에 의해 수집된 다양한 데이터 자료를 통합적으로 처리, 관리 및 시각화하는 기능이 있으며 데이터 상호간의 관계를 정량적으로 해석할 수 있기 때문에 최근 수산해양분야에서 널리 이용되고 있다 (Tanoue et al., 2008).

본 연구에서는 일본 연안 해역에 설치된 인공어초 어장에서 수록한 어군, 어초 구조물, 해저 지형, 저질, 해양환경 등의 데이터를 통합·변환하고, 이들 데이터를 3차원으로 시각화하여 데이터 상호간의 관련성을 정량적으로 조사하고 분석하였다.

재료 및 방법

데이터 수집

본 연구는 1955년부터 1997년에 걸쳐 일본 야마구치현 시모노세키시 기타무라 연안에 조성된 인공어초 어장을 대상으로 하였다. 인공어초에 관한 정보는 후파오이섬 주변, 시모노세키시 및 호우호쿠읍 연안의 세 곳에서 수집하였으며, 이 중 후파오이섬 주변의 인공어초에 관한 정보는 2001년 6월 10일에 사이드 스캔소나 (272TD, Edge tech, 100kHz와 500kHz)를 이용하여 수집하였다. 사이드 스캔소나를 이용한 어초위치는 DGPS (GR-80, Furuno)와 GPS (GP-50 Mark3, Furuno)로 측정하였고, 탐지된 어초의 총 수는 1442였다 (Hamano et al., 2002). 후파오이섬 이외 시모노세키시와 호우호쿠읍 연안의 어초 데이터는 시모노세키시가 관리하고 있는 어초대장에서 위치 정보, 재질, 면적 및 설치 장소의 저질 등의 어초 정보를 수집하였다.

어초 주변에 위집된 어군 분포와 분포 지역의 해양환경을 조사하기 위해서는 음향조사와 병행하여 CTD (AAQ1183, JFE Advantech) 관측을 실시하였다. 음향 데이터는 2008년 5월 25일, 야마구치현 시모노세키시의 무라사키노하나 주변 해역에서 약 2마일의 조사정선을 0.15마일 간격

으로 설정하여 계량어군탐지기 (EK60, Simrad, 70 kHz and 200 kHz)를 사용하여 수집하였다. 해양환경 데이터는 CTD를 이용하여 표층부터 해저까지의 수온과 염분 등을 측정하였다. CTD관측은 음향 조사선 (transect line)의 양쪽 끝과 중앙에 각각 3점씩을 배치하여 실시하였다. 또한 본 연구에서는 계량어군탐지기와 CTD에서 관측한 정보 이외에도 일본 수로협회 발행의 해저지형정보와 해안선 정보 및 환경 시뮬레이션연구소 발행의 수심정보를 이용하였다.

음향 데이터의 처리

계량어군탐지기에서 얻어진 음향데이터를 이용하여 인공어초 주변에 위집한 어군 분포와 현존량을 조사하기 위해서는 먼저 인공어초와 해저로부터 어군의 에코를 분리할 필요가 있다. 이것은 어초에 가까이 분포하는 어군과 관련하여 특히 중요시되는 문제이다 (Nakamura and Hamano, 2009). 보다 정확한 해저선을 작성하기 위해서 음향데이터 해석소프트웨어 Echoview ver. 4.90 (Myriax, 2010)의 라인 선별 (line pick)기능을 이용하였다. 다음으로 인공어초 어장에 서식하는 어군을 검출하기 위해서 Echoview의 어군 검출 기능을 이용하여, Table 1에 표시한 설정 파라미터에 부합한 어군을 검출하였다. 에코그램상에서 어군을 검출하기 위한 최적의 파라미터를 사용하기 위해서 대표적인 어군을 대상으로 어군의 크기 즉 어군의 길이, 높이, 이웃한 어군과의 거리를 측정하였다. 특히 어군의 길이에

대해서는 배의 이동속도와 펄스폭을, 어군 높이에 대해서는 펄스폭에 의한 수직 분해능을 고려하였고, 어군의 크기를 미리 파악한 후에 표의 설정 파라미터를 결정하였다. 여기서 검출된 어군의 형태 (길이, 높이, 둘레 (perimeter), 면적 등)와 핵심적인 특징 (분포 수심 등)에 관한 정보는 CSV (comma separated value)형식으로 추출하였다. 어군의 해저로부터 높이 (이하 고도라 한다.) A는 수심을 D, 어군의 평균소재심도를 d, 어군의 평균적인 수직폭을 h라할 때, 다음 식으로부터 구하였다.

$$A = D - d - h/2 \quad (1)$$

또한 70kHz에 있어서 에코그램은 GIS용의 파일형식 (EVE)으로 추출하였다.

GIS Eonfusion에 있어서 데이터 처리

본 연구에서 인공어초 주변에서 얻어진 다차원 데이터를 시계열적으로 공간분석하기 위해서 GIS 소프트웨어인 Eonfusion ver. 2.1 (Myriax, 2010)을 사용하였다. GIS는 여러 형태 (벡터, 라스터 (raster), 오디오와 비디오 데이터 등)의 다양한 데이터를 통합하여 복수 데이터 소스를 하나의 데이터로 융합시켜 복수 데이터간의 상호관련성에 대해 위치정보를 기준으로 해서 공간적으로 분석하며, 얻어진 결과를 지구 좌표위에 시간정보를 포함한 4 차원 환경 (X: 위도, Y: 경도, Z: 심도와 시간)으로서 시각화할 수 있으며, 그 결과는 CSV형식으로 추출할 수 있다. 지금까지의 GIS는 3차원 정보에 시간정보를 추가할 때 데이터의 구조가 매우 복잡하게 되어 다차원적인 데이터를 해석하기가 곤란할 경우가 많았다. 그러나 본 연구에서 사용한 GIS는 데이터의 입력에서 4차원까지의 처리과정 (데이터 흐름 data flow)을 각각 개별적인 개체 (object)로 정의하기 때문에 시간과 공간정보를 포함한 복수 데이터 세트의 속성 (attribute) 정보를 통합하여 변환시켜 시공간을 기초로 한 데이터 간의 상호관련성

Table 1. The parameter settings for detecting a school in SV (volume backscattering strength) echogram at 70 kHz

Setting parameter	Value
Minimum data threshold	-70dB
Minimum total school length	5m
Minimum total school height	2m
Minimum candidate length	5m
Minimum candidate height	2m
Maximum vertical linking distance	5m
Maximum horizontal linking distance	5m

Fig. 1. A dataflow for multi-dimensional analysis using diverse data set in GIS application (Eonfusion).

을 용이하게 시각화하며 해석할 수 있다.

본 연구에서 사용한 데이터는 인공어초 주변에 검출된 어군의 특징을 추출한 데이터 (CSV형식), 70kHz의 에코그램을 GIS 소프트웨어로 추출한 데이터 (EVE형식), CTD에 의한 해양환경 데이터 중에 수온을 보간한 데이터 (래스타형식), 해저수심, 저질, 일본 연안선의 데이터 (ESRI shape형식)와 인공어초의 데이터 (CSV형식)를 종합하여 Eonfusion에서 분석을 실행하였다. Fig. 1은 Eonfusion을 사용한 복수 데이터 세트로부터 다양한 형식의 데이터를 이용하여 데이터 상호간의 관련성을 조사하기 위한 처리 과정을 도식화 한 것이다. 이것은 다차원적인 데이터 세트를 통합하여 복수의 데이터를 하나의 데이터처럼 사용할 수 있게 하고, 다른 형식의 데이터를 변환시켜 데이터 세트 상호간의 관계를 자유롭게 분석할 수 있도록 하였다. 데이터 상호간에 관련성이 있는 경우는 데이터의 속성이 위치정보를 기준으로 상호간에 이동할 수 있다. 마지막으로 데이터 세트의 상호간의 관련성을 파악한 후에는 그 결과를 3차원으로 시각화할 수 있고, 또한 CSV형식으로 추출할 수 있다. 추출된 CSV형식의 처리된 데이터를 사용하여 데이터간의 상호 관련성을 정량적으로 살펴 보았다.

수온과 염분의 3차원 보간

CTD에서 얻어진 데이터는 GIS를 이용하여 먼저, 근접한 두 개의 정점간에 있어서 선형 값을 보간하는 기법과 역거리 가중보간 기법 (Inverse distance weighting interpolation)을 이용하여 보간을 행하였다. 역거리 가중보간 기법에서는 어떤 크기의 셀 (위도0.005°, 경도0.005°, 심도 0.5 m)을 작성한 후, 이 셀에 대한 범위 (X축, Y축, Z축) 값을 이용하여 보간 계산을 행하였다.

결 과

수온과 염분의 3차원 보간

근접한 2개 정점 간에 있어서 선형치의 보간은 그림으로 표시하지는 않지만, CTD에 의해서 취득한 정보는 수온뿐만 아니라 염분, 용존산소, 클로로필 및 탁도를 대상으로 2점간의 선형보간을 실시하였다. Fig. 2는 CTD로부터 얻어진 수온을 예로 선술한 역거리 가중법을 이용하여 보간한 수심 0m, 6m, 12m와 18m에서의 레이어 (layer)를 표시한 결과이다. 수온 0m의 레이어 내에 복수의 막대표시는 CTD의 관측점을 나타낸 것이다. 또한, 그림 아래에 표시한 타임 슬라이더 (time slider)는 시간정보와 공간정보를 변화시키면서 해양환경의 특징을 3차원 혹은 4차원으로 시각화할 수 있는 장치이다. 본 연구에서 슬라이더를 수심으로 선정하여 각각의 레이어에 대한 수온의 변화를 살펴 보았다. 그 결과로, 해수면에서는 19-25°C, 6m층에서는 18-19°C, 12m층에서는 18-18.5°C, 18m층에서는 17.5°C를 나타냈고, 수심이 깊을수록 수온은 낮은 경향을 보였다. 또한 이 도구를 이용하여 수심 18.3m보다 깊은 곳에서는 18°C (그림에 있어서 파랑색)보다 낮은 수온 값을 나타낼 수 있었으며, 모든 층에 있어서 수온의 평균치, 최소치, 최고치는 각각 18.82°C, 18.40°C, 19.69°C 이었다.

어군의 SV값과 어군 면적의 동시적인 시각화

음향 데이터 해석 소프트웨어를 이용하여 추

Fig. 2. The visualization of water temperature in three-dimension using inverse distance weighting interpolation. The interpolated water temperature (° C) at 0m of depth (A), at 6m (B), at 12m (C) and 18m (D) are shown. Multiple bars inside water temperature are CTD station points (A). The time slider at the bottom of figure is set as depth hence while the slider is moving back and forth, water temperature is appearing according to depth changed by the slider.

출한 70kHz의 EVE파일과 검출된 어군을 추출한 CSV파일을 GIS에서 직접 읽어 에코그램 위에 어군을 3차원의 구로 표시하였다 (Fig. 3). 그림에서 표시한 컬러 스케일은 SV값의 강도에 상응한다. 역치는 -70dB로 설정했기 때문에 그 이하의 값은 투명하게 표시되었다. 여기서 검출된 모든 어군의 평균 SV값을 에코그램과 같은 색을 사용하였으며, 구의 크기는 어군의 면적에 대응시켜 시각화한 것이다. 그림에서 표시한 3개의 붉은 스케일바로서 에코그램의 데이터 포인트에 놓고, 그 데이터 포인트를 중심으로 한 스케일바의 X, Y, Z축의 간격을 읽으면, 데이터의 규모를 상대적으로 알 수 있게 된다. Fig. 3에 표시한 스케일은 X와 Y축 위에서 각각 0.002°, Z축에서는 5m를 나타내었다. 이 그림에서 보다 얇은 해역에서는 해저에 근접하여 분포한 어군

Fig. 3. Mean SV and area of detected schools are visualized individually in color and the size of radius on SVEchogram. The green line on the top is cruise track and look-like band in dark brown color in the middle of the echogram represents the seabed. The scale with three lines in X, Y and Z axes provides a hint of scale of data set. Units of mean SV and area of school are dB re 1 m²/m² and m².

의 평균 SV값은 약 -40 ~ -38dB을 나타내고, 중층 부근에 분포한 어군과 비교해서 보다 높은

Fig. 4. The color of a school presents water temperature which was interpolated by inverse distance weighting. The temperature attribute in a raster transforms into vector data of the school. The color legend shows water temperature on schools. The size of sphere indicates the perimeter of a school. Halo around the sphere represents the length of a school. The echogram created from an exported file from Echoview is also shown. The pale gray lines on the surface represent latitude and longitude.

값을 가지고 어군의 면적도 넓다는 것을 알 수 있었다. Fig. 3에 타임 슬라이더를 표시하지 않았지만, 이를 사용하여 시간 축을 변화시킨다면 인공어초 주변에 분포한 어군의 특징을 보다 상세하게 관찰할 수 있다는 가능성을 시사하고 있다. 예를 들면, 2008년 5월 28일 오전 9시 42분부터 오후 2시 50분에 수행한 음향조사에 있어서, 평균 SV값이 약 $-38.4 \sim -36.6\text{dB}$ 의 농밀한 어군 반응은 오전 10시 16분부터 11시 22분 사이에 출현한 것으로 확인할 수 있었다.

수온정보와 어군정보의 통합화와 시각화

Fig. 4는 공간위치 정보를 기준으로 하여 검출된 어군의 벡터형식 데이터와 역거리 가중법을 이용하여 보간한 수온의 라스타 데이터 형식을 관련시킨 결과를 표시한 것이다. 즉, 어군의 위치정보와 보간한 수온의 위치정보를 기하학적으로 매핑한 위에 이들의 공간 위치정보를 비교

해서 어군의 위치와 수온정보의 위치정보가 교차한 곳에서 수온정보를 어군정보로 이동, 변환시켜 색으로 표시한 것이다. 또한, 수온에 의한 색깔의 시각화뿐만 아니라 어군의 특징 중에서 둘레를 구의 크기로 하고, 어군의 길이를 원광 (halo)으로 표시하였다. 얕은 수심에 서식하는 어군의 수온은 깊은 수심에 분포한 어군에 비해서 약 1°C 정도 높은 경향을 보였다. 그리고 수심이 얕은 해저 근처에 분포한 어군의 주위장과 길이가 깊은 수심의 어군보다 크를 알 수 있었다. 또한, 어군의 둘레 (P, m)와 길이 (L, m) 사이는

$$P = 3.0097 L + 27.39 \quad (r = 0.96) \quad (2)$$

의 관계를 얻었다.

인공어초와 어군과의 관계

음향 데이터로부터 검출된 어군정보와 시모노세키시 연안 해역에 설치된 인공어초의 지리정보를 근거로 2개의 데이터 세트 상호간의 관련성을 살펴보았다. 인공어초의 정보에 관해서는 음향자원 조사를 실시하여 어군이 확인된 해역 (위도 $34.0^\circ \sim 34.1^\circ$ 와 경도 $130.85^\circ \sim 130.95^\circ$) 만을 선별하여 인공어초의 정보를 사용하였다. 여기서 어군의 분포와 인공어초와의 상호간의 관련성을 조사하였다. 즉, 탐지된 모든 어군을 대상으로 가장 가깝게 위치한 인공어초까지의 거리를 찾고, 그 어초가 설치된 수심, 어초의 재질 등의 정보를 각각의 어군정보로 이동시켜 각 어군과 이에 상응하는 어초의 정보를 상호 관련성을 비교하여 고찰하였는데 그 결과는 Table 2와 같다. 검출된 97개의 어군에 가장 가깝게 설치된 인공어초의 재질은 대부분 콘크리트 소재와 석재로 구성되었으며, 석재는 어군의 81%, 콘크리트 소재는 18%, 기타는 1%의 어군이 분포함을 알 수 있었다. 어군은 5~10m 수심에 설치된 인공어초에 가장 많이 위집하였고, 그 비율은 85%를 차지하였다. 다음으로는 수심 11~

15m에 설치된 인공어초로 그 비율은 10%였다. 어군에서 인공어초까지 거리에 대해서는 어군의 77%가 800m 이내에 분포하는 것을 알 수 있었다. Table 2에는 제시하지 않았지만, 어군과 인공어초사이의 거리를 분석한 결과, 어초로부터 0–300m에 어군의 44%, 300–600m에 28%가 분포하며, 600m 이내에 어군의 72%가 서식하고

있음을 알 수 있었다.

인공어초, 저질, 해저지형의 상호간 관련성

후타오이섬 주변, 시모노세키시와 호우호쿠읍 연안 해역의 세 곳에 설치된 어초의 위치, 재질, 설치 규모에 관한 정보와 해안선 정보, 해저 퇴적물 (grain size)에 관련된 저질 정보와 해저지

Table 2. Preference of reef materials and reef depths of the detected fish schools at Shimonoseki Coast, the closest distance from reefs to the schools. The materials, depths and distances of the reefs which are transferred to detected schools based on the closest distance. By computing the closest distance of the reef from each detected school, relevant information of the reef is available on the geographical locations of the schools

Material of reef			Distance of reef			Depth of reef		
Material	No. of unit	Percentage (%)	Distance (m)	No. of unit	Percentage (%)	Depth (m)	No. of unit	Percentage (%)
Stone	79	81	0–400	47	48	0–4	4	4
Concrete	17	18	400–800	28	29	5–10	82	85
			1200–1600	11	11	16–25	1	1
			1600–2000	1	1			
Total	97	100	Total	97	100	Total	97	100

Fig. 5. Shimonoseki artificial reef showing its material by color and its volume by the size of sphere on the seabed map. The study site is indicated with a black arrow on the map around Kyushu in Japan (A). The gray contour lines on the seabed map represent every 10 m of water depth (B). The type of seabed in Shimonoseki is mapped on bathymetry of it. The size of grain was used to determine the type of seabed, which is also shown in the legend. The coastline is created to be surface and shown as land in dark green. A white arrow points to the acoustic and CTD survey site. The same white arrow also indicates a very thin green line, which is the acoustic cruise track.

형에 관련된 수심정보를 GIS를 이용하여 통합, 분석 및 시각화한 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 수심 10m 간격으로 표시한 3차원의 해저 지형도 위에 저질정보와 시모노세키시 연안 해역에 설치된 인공어초의 정보를 종합적으로 시각화한 것이다. 저질은 해저 입자직경을 기준으로 분류하여 색으로 표시하였으며, 인공어초의 재질은 색으로, 어초의 체적은 구의 크기에 대응시켜 표시한 결과이다. 본 연구에서 실시했던 음향 조사와 CTD 관측은 비교적 좁은 범위에서 실시하였으며 그 해역을 흰 색 화살표로, 음향조사의 항

적라인은 녹색으로 표시하였다. 본 조사해역에서는 전체적으로 갈색으로 표시된 석재와 녹색으로 표시된 콘크리트재로 만들어진 인공어초가 많이 설치되었음을 알 수 있었다. 석재로 구성된 어초가 가장 많이 산재되었으며, 그 체적은 약 2500m³으로 수심 10m 이내에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 또한, 본 조사해역에 있어서 콘크리트 소재의 어초는 아주 다양한 규모로 설치되어 있었고, 그 중에서 침전이 어초의 재료 중에서 가장 큰 체적을 차지하였다.

시모노세키시 연안 해역의 어초와 해저 저질과의 상호 관계를 조사한 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서는 인공어초의 위치 정보와 해저 저질도의 위치정보를 비교하여 그 위치정보가 상호간에 교차하는 부분에 한해서 어초정보와 저질정보를 비교하여 분석하였다. 그 결과로 284개의 인공어초가 설치된 해저의 저질에서 0.25–0.5mm, 4–64mm, 64–256mm의 입자 직경으로 분류시킨 저질은 중간 크기 모래, 작은 자갈, 바위임을 확인하였다. 또한, 인공어초는 이들 분류된 저질에 각각 24, 29, 26%가 설치되었고 뿔에는 전혀 설치되지 않았다.

Fig. 6은 후따오이섬 주변과 호우호쿠읍 연안

Table 3. The types of seabed and the sizes of grains on the coordinates of Shimonoseki artificial reefs, which are transferred from seabed map information. The seabed map was originally classified based on the size of grain

Seabed type	No. of unit	Size of grain (mm)	Percentage (%)
Silt or Mud	0	0–0.0625	0
Fine sand	30	0.0625–0.25	11
Medium sand	68	0.25–0.5	24
Coarse sand	24	0.5–2	8
Granule gravel	6	2–4	2
Pebble gravel	81	4–64	29
Rock	75	64–256	26
Total	284		100

Fig. 6. Futaoi (F) and Hohoku (H) reefs showing as spheres on their geographical locations, which are color-coded based on the type of seabed from the artificial reef data set. The color on the seabed map represents the type of seabed from the sediment data, which was grouped more precisely for seabed classification. The two color legends are made from artificial reef data and sediment data. The time slider on the bottom indicates the time range of the data sets.

에 있어서 인공어초가 설치될 당시의 해저 저질 정보와 일본 해안 보안청에서 발췌된 해저 저질 정보를 입자직경 기준으로 분류된 저질정보와 함께 시각화한 것이다. 서로 다른 두 데이터 자료에서 같은 해저저질의 정보를 비교하기 위해 가시화한 것이다. 여기서 인공어초가 설치된 위치 정보에, 균등한 사이즈의 구 (인공어초의 unit)를 사용하여 인공어초의 정보 중 저질 (모래, 돌, 바위)로 구분하여 색으로 표시하였고, 해안 보안청의 해저저질 정보를 입자별로 7단계 (silt or mud-rock)의 저질로 분류하여 컬러로 표시한 후, 이 저질 분포도와 해저 수심정보를 중첩하여 3차원 해저도를 작성하였다. 열은 회색선은 수심 10m의 등심선이고, 다른 두개의 데이터 세트로부터 얻어진 해저정보를 3차원 시각화하여 비교한 결과, 데이터 상호간에 좋은 일치를 보였다. 그러나, 후타오이섬의 어초 데이터는 사이드 스캔소나로 부터 얻어진 데이터를 이용하여 분석하였지만, 어초의 설치 수심은 해저지형도의 수심과 약간 어긋남을 보였다. 이 어긋남의 원인은 아직 해명되지 않았지만, 이와 같은 복수 데이터 세트를 통합적으로 시각화할 경우에는 데이터의 처리과정에 있어서 생성될 수 있는 오차값 등을 발견할 수 있는 이점이 있다.

고 찰

인공어초의 설치 효과를 파악하기 위해서는 어군에 관련된 생물 정보뿐만 아니라 인공어초 주변에 있어서 해양 물리환경, 해저 지형과 해저 저질 등 복수의 정보를 통합하여 다차원적으로 해석하는 것이 중요하다. 매우 다양한 데이터를 수리적인 방법으로 해석할 경우에 예비 단계로서 데이터를 가시화하여 데이터의 전체를 대략적으로 이해하는 것이 이상적인 기법일 수 있다 (Hamano et. al., 2000; Hamano et. al., 2001). GIS기술은 수집된 복수의 데이터를 시각화함으로써 데이터간의 상관 및 이상치 (outlier) 등 직감적으로 데이터의 변동특성을 이해할 수 있는

유효적인 방법이다. 그러나 일반적으로 이용되는 GIS는 서론에서 언급한 것처럼 3차원적 표시가 가능하지만, 시간축을 변화시키거나 3차원 (X:위도, Y:경도, Z:심도)의 정보에 새로운 속성 정보를 추가적으로 자유롭게 변화시키면서 다면적인 동시에 시계열적인 시각화가 가능하지 않은 실정이다. 특히 4차원 데이터를 취급하는 수산해양분야에 있어서는 이러한 제한을 극복하는 것은 매우 중요하다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 시공간 데이터 세트를 다차원적으로 분석하고 시각화할 수 있는 새로운 형태의 GIS를 활용하여 인공어초 주변의 어군의 분포, 어초와 해저지형, 저질과 해양환경과의 상호 관련성에 관하여 조사하였다. 그 결과, 계량어군탐지기로부터 얻어진 어군의 음향강도 정보 (SV값)뿐만 아니라 어군의 면적, 주위장, 길이 등 어군의 기하학적 정보를 GIS에 통합적으로 시각화함으로써 어초 주변에 분포하는 어군의 특징을 포괄적이면서 정확하게 이해할 수 있게 되었다. 더욱이, 공간 위치정보를 기준으로 해서 어군, 어초, 저질, 해양환경 등의 다양한 개체의 속성정보를 통합 · 시각화하여 어초의 위치, 어군, 어초와 해양환경과의 상호 관련성을 다각적이면서 정량적인 해석을 할 수 있음을 시사하였다. 본 연구에서는 상기에 논한 것과 같이 음향조사에서 얻어진 데이터를 중심으로 인공어초에 관련한 물리적인 데이터를 이용하여 다차원해석을 실행하였다. 그러나 인공어초 주변에 위집한 어군행동, 어군과 어초와의 관계, 위집량을 상세하게 검토하기 위해서는 (Thorne, 1989; Thorne, 1994; Stanley and Wilson, 1997; Soldal et. al., 2002) 특히, 어종별 어군과 어초와의 상호 관련성을 알아보기 위해서는 어종별 정보가 요구된다.

음향적인 어종판별

최근 2주파수의 계량어군탐지기를 이용하여 2주파수 (70kHz, 200kHz)간의 반사 강도의 차를

이용한 SV 차법 (혹은 dB difference, Δ MVBS법)을 사용하여 계량어군탐지기에서 얻어진 에코그램 중에서 어군과 플랑크톤과 같은 어종을 식별하고, 같은 어종을 대상으로 어군의 연령을 분리하는 연구 등에 넓게 이용되고 있지만 (Kang et. al., 2002; Kang et. al., 2006), 인공어초 어장에 있어서 이 수법을 적용한 사례는 거의 없다.

따라서 본 연구에서 음향 조사시에 사용된 70kHz와 200kHz의 SV값을 이용하여 검출된 어군을 대상으로 해서 어군별 SV차를 조사하였다. 그 결과, 검출된 어군의 반이상 (52%)이 $-5 \sim -0$ dB의 SV차의 범위를 나타내었고, 200kHz의 어군의 에코가 70kHz의 것과 비교해서 약 5dB 높은 SV값을 나타냈다. 또한 전체적으로도 200kHz가 70kHz에 비교해서 높은 SV값을 나타내는 반응을 보였다. 본 연구에서는 상기의 2주파수간의 SV차를 표시한 어군을 대상으로 네트 샘플링을 통한 어종은 확인하지 않았지만, 차후 인공어초 해역에 있어서 SV차의 범위와 네트 샘플링에 의한 Ground truth방법으로 얻어진 어종을 검토할 예정이므로 SV차의 범위로부터 어종을 식별할 수 있을 것을 기대한다. 또한, 에코그램상에서 얻어진 어군의 형태적 특징 (길이, 폭, 주위장, 면적 등)과 측심학적 특징 (분포수심 등)을 근거로 해서 어군을 분류함으로써 어군 형상으로부터 어종의 추정을 위한 중요한 정보를 제공할 수 있다. 이와 같이 주파수별의 어군 반사 특징, 어군의 형태 및 측심학적 특징을 관련시켜서 차후 계절별 정보를 데이터베이스화한다면 네트 샘플링 방법에 의존하지 않고 음향학적 기법만으로 직접적인 어종을 식별할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 데이터베이스는 인공어초에 위집하는 어군량을 어종별로 추정하는 연구 및 어군의 어초에 대한 행동 패턴을 어종별로 조사하는 연구에 유효하게 활용될 것으로 사료된다.

다차원 데이터 처리

본 연구에 이용된 음향장비인 계량어군탐지

기는 일반적으로 배 아래쪽을 향한 단일 빔 (beam)내의 어군정보와 해저정보를 계측하기 때문에 조사선 항로의 바로 아래쪽의 매우 좁은 빔내 해중정보밖에 얻을 수 없다 (Hamano et. al., 2002). 이와 같은 문제를 극복하기 위해서 스캔 소나와 멀티빔 소나가 이용되고 있으며, 최신 멀티빔 소나기술은 인공어초의 3차원 형상뿐 만이 아니라, 어군의 3차원적 특징, 위치, 수평이동 방향의 계측 등 정량적인 정보를 얻을 수 있게 되었다 (Shyue and Yang, 2002; Gerlotto et. al., 1999). 이와 같은 소나시스템을 이용할 수 있다면 인공어초 해역에 관련된 포식자와 피포식자의 상호작용 (Axelsen et. al., 2001), 서식지의 메핑 (Hamano et. al., 2005) 등의 상세한 상황을 파악할 수 있으며, 3차원에 있어서 검출된 어군을 정밀하게 작성된 인공어초 정보를 포함한 해저도 위에 표시할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 이용된 GIS 소프트웨어내의 타임 슬라이더라 불리는 컨트롤러 툴을 이용하는 것은 시간과 공간정보를 자유롭게 변화시켜 시계열적인 어군분포와 수온의 수심별 변화를 공간위치 중심으로 분석할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 공간정보를 근거로 한 시계열적인 데이터의 시각화는 차후 해양환경의 변화 중에서 인공어초 주변에 대한 어군분포의 일주 변화와 계절 변화 등을 파악할 때에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서 일본 야마구치현 시모노세키 연안 해역에 설치된 인공어초 해역에서 수집한 다양한 데이터 세트를 통합하여, 4차원인 시각화와 데이터 상호간의 정량적인 분석이 가능한 다차원적인 분석 방법에 대하여 고찰하였다. 인공어초에 관한 여러 다른 데이터 세트 (인공어초 해역 주변에서 얻은 어군, 어초, 해저지형, 저질, 해양환경)를 새로운 GIS 응용프로그램을 활용하여 첫째, 어군과 수온 사이의 관계를 3차원으

로 시각화하였고, 둘째, 다양한 어군의 특징을 통합적으로 시각화하였다. 셋째, 인공어초와 어군의 상관 관련성을 정량적으로 나타내었으며, 넷째, 두 개의 다른 데이터 소스로부터 얻어진 해저지질을 비교하였다. 이러한 다차원적인 분석방법은 인공 어초해역에 관련한 해양 환경정보와 함께 어군의 특징을 3차원으로 시각화할 수 있으며, 어초와 어군, 해양환경과 어군 사이의 관계를 정량적인 분석이 가능함을 보여주었다. 아울러 이러한 방법은 다양한 종류의 복수데이터 세트를 비교적 자유자재로 시각적으로 분석할 수 있기 때문에 인공어초의 효과를 평가할 때 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 일본 시모노세키시의 지원에 의해 실시되었으며, 본 논문을 사려깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사를 포함합니다.

참고문헌

- Axelsen, B.E., T. Anker-Nilssen, P. Fossum, C. Kvamme and L. Nottestad, 2001. Pretty patterns but a simple strategy, predator prey interactions between juvenile herring and Atlantic puffins observed with multibeam sonar. *Can. J. Zoo.*, 79, 1586–1596.
- Gerlotto, F., M. Soria and P. Freon, 1999. From two dimensions to three: the use of multibeam sonar for a new approach in fisheries acoustics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 6–12.
- Hamano, A., K. Fukada and T. Nakamura, 2002. Report of a proper artificial reef for fishing ground in the ocean. Shimonoseki-city, 1–51.
- Hamano, A., T. Nakamura and K. Uchida, 2001. Assessment of artificial reef clusters on fish distribution using GIS techniques. The proceeding of the first international symposium on GIS in fishery science, 44–50.
- Hamano, A., H. Tanoue and R. Kieser, 2005. The three-dimensional GIS using sonar information for coastal fisheries. *ICES Doc. CM. U.*, 19.
- Hamano, A., K. Uchida, S. Hara and S. Hiyama, 2000. Application of GIS techniques to the preliminary step for estimating the effect of artificial reef. *J. Nat. Fish. Uni.*, 48, 273–280.
- Iida, K., T. Mukai, D. Hwang, T. Hayakawa and Y. Matsuyama, 1995. Acoustic Observation of Spawning Walleye Pollock *Theragra chalcogramma* and Hydrographic Condition in Funka Bay. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 61, 27–34.
- Jensen, A., 2002. Artificial reefs of Europe, perspective and future. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 3–13.
- Kakimoto, H., 2004. Artificial reef. Japanese Institute of Technology on Fishing Ports, Grounds and Communities, 7–10.
- Kang, M., M. Furusawa and K. Miyashita, 2002. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 794–804.
- Kang, M., S. Honda and T. Oshima, 2006. Age characteristics of walleye pollock school echoes. *ICES J. Mar. Sci.*, 63, 1465–1476.
- Mauray, O. and F. Gerlotto, 2007. Report of the CLIOTOP workshop on designing an ocean mid-trophic automatic acoustic sampler (MAAS). Sète, France, 1–17.
- Myriax, 2010. Help file 4.90.33 for Echoview. <http://support.echoview.com/WebHelp/Echoview.htm>.
- Nakamura, T. and A. Hamano, 2009. Seasonal differences in the vertical distribution pattern of Japanese jack mackerel, *Trachurus japonicus*, changes according to age?. *ICES J. Mar. Sci.*, 66, 1289–1295.
- Paramo, J., S. Bertrand, H. Villalobos and F. Gerlotto, 2007. A three-dimensional approach to school typology using vertical scanning multibeam sonar. *Fish. Res.*, 84, 171–179.
- Relini, G., M. Relini, G. Torchia and G. Palandr, 2002. Ten years of censuses of fish fauna on the Loano artificial reef. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 132–137.
- Ryan, T.E., R.J. Kloser and G.J. Macaulay, 2009.

- Measurement and visual verification of fish target strength using an acoustic-optical system attached to a trawlnet. *ICES J. Mar. Sci.*, 66, 1238–1244.
- Seaman, W. Jr., 2002. Unifying trends and opportunities in global artificial reef research, including evaluation. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, S14–S16.
- Shyue, Sw. and K. Yang, 2002. Investigating terrain changes around artificial reefs by using a multi-beam echosounder. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 338–342.
- Soldal, A.V., I. Svellingen, T. Jørgensen and S. Løkkeborg, 2002. Rigs-to-reefs in the North Sea, hydroacoustic quantification of fish in the vicinity of a “semi-old” platform. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 281–287.
- Stanley, D.R. and C.A. Wilson, 1997. Seasonal and spatial variation in the abundance and size distribution of fishes associated with a petroleum platform in the northern Gulf of Mexico. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54, 1166–1176.
- Tanoue, H., A. Hamano, T. Komatsu and E. Boissier, 2008. Assessing bottom structure influence on fish abundance in a marine hill by using conjointly acoustic survey and geographic information system. *Fish. Sci.*, 74, 469–478.
- Thorne, R.E., 1994. Hydroacoustic remote sensing for artificial habitats. *Bull. Mar. Sci.*, 55, 897–901.
- Thorne, R.E., J.B. Hedgepeth and J. Campos, 1989. Hydroacoustic observations of fish abundance and behavior around an artificial reef in Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.*, 44, 1058–1064.
-
- 2011년 2월 14일 접수
 2011년 5월 4일 1차 수정
 2011년 7월 21일 2차 수정
 2011년 8월 2일 수리