D301 藻場のマルチビーム音響ソナーによる3次元可視化解析

浅田 昭[○] (東大生研), 堀井豊充 (中央水研), 三富龍一 (水生生物生態研),
韓 軍, 吉田善吾 (東大生研)

Three dimensional measurement and visualization of seagrass and seaweed above the seafloor with a multi-beam echo sounder

Akira Asada(IIS, University of Tokyo), Toyomitsu Horii(National Research Institute of Fisheries Science), Ryuichi Mitomi(Aquatic Life & Echology Institute), Jun Han, Zengo Yoshida(IIS, University of Tokyo)

ABSTRACT

Spurious multibeam depths have been eliminated in bathymetry measurements so far. However, those would occasionally become valuable in finding fishes, seagrass, seaweed, benthos, and thermal plume. So we had studied acoustical characteristics of seagrass by using multi-frequency transducers and a mutibeam echo sounder. As a result, the high frequency multi-beam echo sounder was very useful for observation of the growth of sea weed and seagrass. By means of calculating standard deviations of bottom echoes, we could divide echoes efficiently into bottom echoes and water column echoes. It followed that three dimensional measurement and visualization of seagrass and seaweed above the seabottom was carried out successfully.

Keywords: Seagrass, Visualization, Multibeam echo sounder, Water column echoes.

1. はじめに

アマモ・カジメ場は、海域の水生生物の育成に欠かせない海の草原あるいは森林のような働きをしており、微生物や魚介類などの水生生物の育成に不可欠な場である。また、都市圏から海域に流れ込む大量の富栄養水の水質浄化に寄与するなど環境保全に重要な働きを持つ。沿岸域の開発によって消滅した藻場を再生させるため、また、沿岸域に新しい魚介類の育成環境を形成するため、アマモの人工移植も盛んに行われている。これらの生育状況の効率的かつ高分解能の観察法の研究開発¹⁾²⁾は重要な意味を持つものであるが、従来の音響ソナーによる調査手法は藻の分布状況の把握が主で、藻の個体形状の計測、生育状況を十分解析するまでには至っていないものが多い。優れた性能を持つマルチビーム音響測深機を使った藻場の調査が最近行われ始めているが、その機能を活かし藻の観察という視点に立った専用の解析ソフトウェアは無いのが現状であり、海底地形計測の解析ソフトウェアがそのまま使われており、良い解析結果を得るのに大変な時間を費やしている。このような背景から、藻の音響的特性を調べ、マルチビームソナーを使い、効果的に詳細に藻の生育状況を観察するための調査研究を行った。この結果、藻の水中空間におけるセンチメートル分解能の高密度3次元空間情報整備する基本

的な処理法の開発を行った。

2. 藻場の水中空間海域調査

藻を正確に捉えるためにはその音響特性を知る必要がある。このため、20kHzから2MHzまでの多周波のシングルビームの音響ソナーを使い、水中空間において藻の上端から海底までの反射特性を調べた。従来、地層探査器と呼ばれるもので、特に海底付近の浮泥の成層状況を調べるために開発したものである。ターゲットである浮泥を水中の藻に置き換えただけのことであり、分解能は劣るが、確実に藻の上端から海底までのエコー信号をデジタル収録して計測できると考えた。

最後に、10cmグリッドの海底地形を整備し、同時に水中空間の反射エコーを補足することを目的として、SeaBat8125マルチビーム音響測深機を使用した。

これらの機器の動揺を高度に補正するため、RTK-GPS、光ファイバージャイロ・モーションセンサーOCTANSを使い、全ての情報をGPS-1pps信号でGPS時計に同期させた。こうして、神奈川県横須賀市の小田和湾で2箇所、中央水研北の荒崎の入り江、沖の磯場の計4箇所で、それぞれ約200m四方の海域観察と解析を行った。

3. 解析法の開発と解析結果

20kHz、40kHz、400kHz、2MHzの送受波器を使った4周波音響水中探査の結果は、次の通りである。20kHz、40kHzはビーム幅が148度、74度と広く、また、水中のアマモ類は組織内に気泡を多く含みターゲットストレングス(TS)が非常に高く、透過を妨げるとともに、広い範囲の水平方向からの反射波が混合し藻の密生した場所では藻のエコーに隠れて海底が見えにくくなった。ビーム幅が広いことが妨げとなっている。一方、透過性が悪い高周波については、400kHz、2MHzのビーム幅が7度、1.5度と狭く、藻の隙間をかいぐって海底まで到達し、水平方向からのノイズが抑えられ、低周波に比べ海底が捉え易いことが分かった。藻の密生地でも藻の上端と海底を確実に捉えられた。

マルチビーム音響測深機については、これまで海底地形調査を主目的として使われてきたが、今回の計測データの中には、多数の海藻・草類の反射と推定されるエコーを水深として捉えていた。観察対象である海藻・草類の繊維細胞内には気泡を多く含み、音波の反射が比較的強く、マルチビームが海底に到達する手前のこれらから反射するエコーを多数計測していた。また、海底からのエコー深度データの拡がりには10cm程度と小さい集団を形成し、一方、水中からのエコー深度データは数mにまで広がって集団を形成していた。このため統計学的手法を使い、測深データから水中エコーと海底エコーの集団に上手く分離することができたので、海底地形に加え、海藻・草類と推定されるこれらのエコーの深度データを解析した。

(1) 小田和湾北西部

海底地形データとしてはマルチビーム測深データを使い10cm間隔の3000×3000のグリッド水深を作成した。海底地形は水深2mから8mの緩やかな斜面で、起伏はほとんど見られない。北東の端に、水深1mの岩場が計測されている以外は、平坦面である。海藻・草類と推定される水中エコーを海底地形の陰影平面図の上に重ねた図を見ると、緑の点の集まりがこれら水中植物の生育分布を捉えている。水深3mから6mの海底に東側に狭く、西側に広がった扇状に生育している。

水中植物と推察される水中エコーの抽出に当たっては、明らかに、魚、船の係留用ロープと推定されるエコーデータは削除した。また、北緯35度13分12秒から13秒、東経139度36分40秒から41秒の場所に、切り裂いたような空白部が存在するが、この場所は船の係留によってマルチビーム測深が行えなかった、データの欠落部を表している。

生育密度分布から、139度36分41秒から43秒、水深3から4m付近の区域に最も密度が高く、多い所で150-200個/m²のエコーが捉えられている。密度分布の高い筋が幾つも北東

ー南西方向に走っているが、これらは、マルチビーム音響測深機は120度の扇状に直下を中心として240本のビームを照射しているため、船の真下付近では海面から海底まで音響ビームが照射されるが、両端に行くに従って海面から下に音響ビームが照射されない空白域が大きくなるために起こる現象である。調査法が海底を100%カバーするように調査測線を決めたための結果である。これからは、水中空間を100%カバーするようなビーム照射を考慮した観測法を考慮すべきである。

水中エコー数を、海底からの高さ10cm毎に棒グラフにまとめた結果によると、高さ40cm以下のエコーがほとんどである。実際に現場でサンプル採取したアマモの背丈は1m程度あり、この海域では調査期間中は風速が強く(推定10m/s程度)、白波も立っており、海藻・草類が波に揺られて寝ていたと思われる。それでも最高で2m程度の背丈はあると思われる水中エコーも捉えられている。防波堤の内側のため、かろうじて観測が行えた。より正確に背丈を捉えるには、波の無い穏やかな海況下で行うのが適している。

(2) 小田和湾北東部

海底地形としてマルチビーム測深データを使い10cm間隔の3000×3000の水深グリッドを作成した。海底地形は水深1mから5mの緩やかな斜面で、起伏はほとんど見られない。水深1mから4.5mまで海藻・草類のものと推定されるエコーが捉えられている。しかし、図1に見られるように、北緯35度13分11.5秒、東経139度37分1.5秒を中心とする半径40mの円形状に、水中エコーがほとんど存在しない場所が見つかった。その周辺では密度が高く生育している。分布密度の高い筋状の模様が幾つも見えるが、これらは上記の120度の扇状に音響ビームを照射していることによる結果である。このため、高密度の筋の両側には、中心と同じぐらいの密度があると考えてよい。水中エコー数を、海底からの高さ10cm毎に棒グラフにまとめた結果(図2)を見ると、北西部と同じような形態を示しており、高さ40cm以下のエコーがほとんどである。また、1.5から2m程度の背丈のエコーは全域で50個ほどと少ないが捉えられている。

Figure 1. Three dimensional echo distribution (white dots) of seagrass above the seabottom in the northeast of Otawa bay.

Figure 2. Height distribution of seagrass echoes with Seabat8125 above the seabottom in the northeast of Ottawa bay. Number of echoes vs. height (dm).

(3) 曲ヶ根付近

海底地形データとしてマルチビーム測深データを使い 10cm 間隔の 2100×2100 のグリッド水深を作成した。この海域は、4 つの中では最も水中エコーの数が少なく、100 分の 1 以下である。図3に示すように、海底地形は、5-7m の部分がほとんどで岩場で、砂が覆っている箇所が幾つかある。また、中心部と、北西、北東の端に自然の積層の岩脈が露出し、北東-南西方向に筋状の平行した高まり、溝が連続している。つまり、積層堆積岩の南西側が隆起、侵食され、北東側が沈降したような動きを表している。中央部から南側に5箇所ほど投石による石積み跡と思われる帯状のごつごつした地形が存在する。海藻・草類のものと推定される水中エコーの多くは、これらの堆積岩、石積み地形の上に集中するように観察された。北側には S 字状に水深 6m-7m の平坦な砂地の海底があるが、この部分には、水中エコーがほとんど存在していない。また、平坦な砂地の表面には比高が 10-20cm の小さなサンドウエーブ模様が全体に存在している。自然の波が水深 6m の海底上にまで影響していることを現している。他の 3 箇所の調査区域と違い、この場所では海底から直上付近には水中エコーが非常に少なく、60cm-110cm の高さにピークが観察されている(図 4)。つまり、多くは茎が細く、60-110cm ぐらいの高さで広がった植物と推定される。計測誤差分布を考慮すると背丈の最高も 1.8m 程度と思われる。

(4) 荒崎北側入り江

中央水研の北側に隣接する入り江において、水深が 0.5m から 8.5m のトラフ状の区域を調査し、海底地形データとしてマルチビーム測深データを使い 10cm 間隔の 2300×2300 のグリッド水深を作成した。防波堤に囲まれた小さな入り江のため、海況も最も穏やかで、調査条件としては最も良い場所であった。場所であった。逗子マリーナの南東側にも小さな入り江がある

Figure 3. Three dimensional echo distribution (white dots) of seaweed above the seabottom southeast off Ottawa bay.

Figure 4. Height distribution of seagrass echoes with Seabat8125 above the seabottom southeast off Ottawa bay. Number of echoes vs. height (dm).

が、マリーナの岸壁に積み上げられた多数のヨットに遮られ、GPS 基準点の無線情報が受信できないため調査を断念した。北西から南東にかけて高い岩地形が存在し、その南側を調査した。結果としては、3つの水中植物の分布形態が観察された。

岩地形の南に隣接したトラフ状の平坦面、水深 5m 以浅には多数の植物が生育している。しかし、岩の南の裾部分には生育していない筋状の空白模様がある。ここは深い溝となり、土砂等が流れることによって生育が妨げられていると思われる。北西から南東に連続するトラフ状平坦面からその東側につながるスロープ状の海底には、背丈の高い、海底から上まで連続して水中エコーが捉えられ、細い緋状のエコーが密生して林立している様子が詳細に分かる。ここには、1.5m-3.5m もの背丈の植物が多数生育している。北側の連続した岩場が波をブロックしていることも好生育条件の一つとも考えられる。

この北側の岩場の上にも植物が点在して生育している。アニメーションからは、曲ヶ根の植物と同じ形態に見えるが、多くは海底直上にはエコーが少なく、50-100cm ぐらいの高さでエコーが捉えられている。また、トラフ状のくぼ地の南側にはお椀

Figure 6. Three dimensional distribution (white dots) of seagrass and seaweed echoes with Seabat8125 above the seabottom in Arasaki inlet.

Figure 6. Height distribution of seagrass and seaweed echoes with Seabat8125 above the seabottom in Arasaki inlet. Number of echoes vs. height (dm).

を伏せたようなドーム状の斜面があり、そこには背丈の低い植物が密生して小さな塊を多数作っているように伺われる。

4. 考 察

従来、マルチビーム音響測深機を使った水中エコー(ウオーターカラム)の観察・解析は、本来の機能を有効に引き出すような方法で行われていなかった。しかし、マルチビーム音響測深データ全てをそのまま水中空間上に展開し、的確に海底とウオーターカラムの分離計測が可能であることが実証された。また、本解析で用いた手法を使えば、海底に生育する海藻・草類の分布を効果的に観察できることも分かった。しかし、調査手法としては、海底を100%カバーするという考え方ではなく、ウオーターカラムを100%照射するという方法がより好ましい。今後の改善点である。

多周波の音響ソナーを使ったおかげで、アマモ類は反射が非常に強いので、20kHz、40kHzのビーム幅が広いものより、2MHzの鋭いシャープなペンシルビームの方が、藻も捉え、かつ、海底まで突き抜けて有効であることが分かった。また、周波数が20kHz、40kHzと低くても、気泡を多く含む繊維細胞によって水中で散乱波が生じ、透過を良くしないという現象も理解できた。

アマモに関しては、マルチビーム音響測深データの水中エコーでその姿をある程度類推が可能であった。一方、カジメ類に関しては、水中エコー分布の様子から、姿を類推することは難しい。今後、同時に観察を行った音響ビデオカメラ DIDSON の音響映像と見比べながら、水中エコー分布と DIDSON が捉えた植物の姿を一致させるという解析法を加えることが可能である。

今回の調査法により間接的ではあるが、水中植物の生育分布を細かく観察することができ、また、密生場所の中に植物の生育しない大きな空白部が存在する場所も発見された。水深や、波浪、海底地形と生育との関係も見受けられた。今後も、同じような観察を継続して行うことにより、より詳しい生育環境評価や、生育分布状況の経年変化が捉えられ、状況が良くなっていくのか、または、悪化していくのかといった、評価を行うことが有効と考えられる。これまでのマルチビーム音響測深機を使って、本解析法を使えば全く新しい高分解能の水中空間の藻の情報が得られることが分かった。

また、従来のマルチビーム音響測深機は、各ビームが海底という1つのターゲットのみを計測する仕組みになっており、水中空間の全ての散乱波を計測できるようにする必要がある。ビーム幅を更に狭め、180度スワス探査にする、などの改良を加えた、専用のマルチビームソナーを開発すれば、非常に効果的に藻場の生育状況を正確に観察できる。

参考文献

- 1) Komatsu T., Igarashi C., Tatsukawa K., Sultans S., Matsuoka Y. And Taira, A.: Mapping of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay, on the Sanriku Coast of Japan, Aquatic Living Resources, 39 (2003) 223-300.
- 2) Komatsu, T., Mikami, A., Sayeeda, S., Ishida, K., Hiraishi, T. and Tatsukawa, K.: Hydro-acoustic measurements as a practical tool for mapping seagrass beds, Otsuchi Marine Science 28 (2003) 72-79.