

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380108

研究課題名(和文) 藻場バイオマスモニタリングのための音響計測手法の開発

研究課題名(英文) Development of acoustic technique for biomass monitoring of seaweed bed, sea grass bed and kelp bed

研究代表者

宮下 和士 (MIYASHITA, KAZUSHI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：70301877

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,700,000円、(間接経費) 4,410,000円

研究成果の概要(和文)：藻場には構成種の違いにより、アマモ場、ガラモ場、クロメ場といった数種の藻場がある。本研究では藻場に関する音響反射強度(SA)と波形の特徴(ウェーブレット係数)を調べることにより、音響学的手法を用いた藻場の種類判別方法について検討を行った。その結果、藻場の種類判別は、第一段階でSA値(ガラモ場-33.3~-57.0 dB、アマモ場-39.2~-66.1 dB、クロメ場-59.8~-74.3 dB)による判別、第二段階でウェーブレット係数(Lv4)による判別(アマモ場12000~39000、クロメ場3000~12000)を行うことで可能であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：In coastal area, Sargassum spp., Zostera spp. and Laminaria spp. forms dense vegetation community, which are called as seaweed bed, seagrass bed and kelp bed. In this study, we estimated the characteristics and the wave shapes of acoustic intensity of these beds, and then we developed the discriminate method of these beds by acoustic technique using the characteristics. In the result, it was suggested that the discrimination of the beds is possible using a two-stage approach. The first stage is the discrimination of the area backscattering (Seaweed bed; -33.3~-57.0 dB, Seagrass bed; -39.2~-66.1 dB, Kelp bed; -59.8~-74.3 dB). In the second stage is the discrimination of the wavelet coefficient of Lv. 4 (Seagrass bed; 12000-39000, Kelp bed; 3000-12000). This method may allow better biomass estimation of these beds by acoustic technique.

研究分野：水産学一般

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：藻場 種類判別 音響学的手法 音響反射強度 離散ウェーブレット解析

1. 研究開始当初の背景

藻場は沿岸生態系において低次生産の場、幼稚魚の生育場として非常に重要な役割を担っている。藻場には、アマモ場、ガラモ場、クロメ場などの構成種の異なる藻場が存在し、そのどれもが様々な有用種の生息場となっている。これまで藻場の探査と分布量評価の調査手法には、目視観測を用いた直接的手法による間接的手法が用いられてきたが、直接的手法による藻場の定量評価には多大な時間と労力を伴い、数10キロにもわたる広範囲を調査することは困難であること。また、目視調査では定量結果に人為的誤差が生まれることなどの問題点がある。これらの課題を解決する技術として、計量魚群探知機(以降、計量魚探と表記)を用いた音響学的手法に注目が集まっている。音響学的手法では、音波の往復時間から、反射した物体の存在や位置がわかり、反射波の強度からその密度や生物量を推定できる。近年、藻場の反射強度から生物量を定量化する方法が徐々に確立されてきている。しかし、繁茂している藻場の種類に関する判別方法は未だに確立されておらず、生物量の推定において水中カメラや潜水等の目視による種判別を行う必要があるという問題点がある。

2. 研究の目的

本研究では藻場を構成する海藻種ごとの音響反射特性の違いに焦点を当て、(1)各種藻場の単位面積当たり反射強度である面積後方散乱強度(以降 SA と表記)値による判別方法 (2)水深方向の音響反射波形の周波数応答特性による判別方法、による藻場の種類判別方法を検討することを目的とする

3. 研究の方法

(1) 実験機材

本研究では、鉛直分解能 7.5 cm、周波数 120kHz の計量魚群探知機(KCE-300・ソニック社製)を用いて音響計測を行った。

(2) 実験方法

海藻の反射強度測定(懸垂実験)

各種藻場の SA を算出するためにガラモ場、アマモ場、クロメ場をそれぞれ組成する代表種であるアカモク、アマモ、クロメの1藻体当たりの音響反射強度(以降 TS(Target Strength)と表記)と乾燥重量を計測した。計測は2013年6月13~19日に、京都大学舞鶴水産実験所内の水深5mで波の穏やかな船着場で行った。若狭湾で坪刈によって得られた海藻をナイロンテグスに括り付け、KCE-300の送受波器直下のおよそ3~3.5mの深度帯に吊りし、1藻体当たり約5分間の音響情報を得た(Fig.1)。計測に用いた藻体数はアカモク22藻体、アマモ10藻体、クロメ18藻体である。音響計測終了後、藻体を80℃の乾燥機で8時間ほど乾燥させ、水分を完全に除去し、1藻体当たりの乾燥重量を測定した。

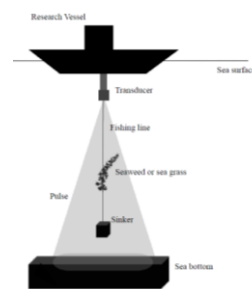


Fig.1 音響計測の概略図

藻場の反射強度測定

2013年6月11、12、17、19日に若狭湾内である養老・小橋、および湾口部(Fig.2)の間人において水深20m以浅で航走ラインを設定し、小型ボートにより船速約4knotで航走し、海中の音響データを取得した。なお、船首で発生する気泡の影響を軽減するため、送受波器は深度約0.5に設置した。また、音響計測と同時に、藻場の種類を水中カメラにより目視確認した。

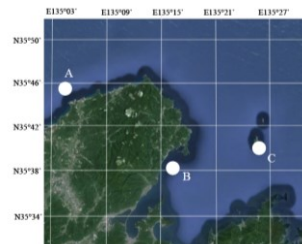


Fig. 2 藻場の計測対象海域(若狭湾), A 間人、B 養老、C 小橋

(3) 解析方法

① 海藻の反射強度

超音波が送受波器から発射され、海藻の上端を捉えた瞬間に反射強度は急激に増加し、音波が再び海藻から外れて海水を捉えた瞬間に反射強度は急激に減少する(Fig.3)。本研究ではこれら二つの境界に挟まれた領域を海藻とし、その中央の反射強度値を TS 値とすることでパルスが藻体を最も包含している反射強度であるとした。

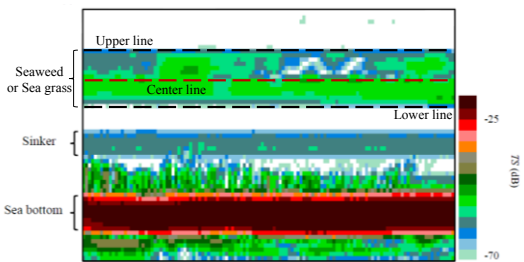


Fig.3 懸垂実験による海藻のエコーグラムの一例

② 藻場と海底の境界線の決定

超音波が送受波器から発射され、藻場の上端を捉えた瞬間に反射強度は急激に増加し、音波が海底を捉えた瞬間に反射強度はさらに急激に増加する(Fig.4)。本研究ではこれら二つの境界に挟まれた領域を藻場とした。なお、海底の反射強度は底質により異なることを考慮し、本研究で扱う3種の藻場が繁茂する岩場、砂場の反射強度値をそれぞれで求め、平均化した値を使用した。

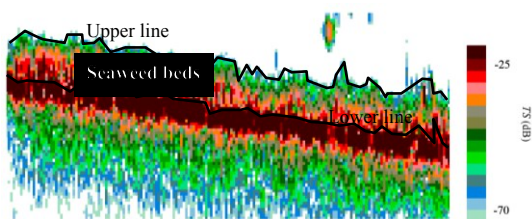


Fig.4 藻場のエコーグラムの一例

③ 各種海藻の単位重量当たり反射強度の算出
懸垂実験によって得られた TS と乾燥重量を用いて単位重量当たりの反射強度を定義した。

$$TS_g = TS - 10 \log W \quad (1)$$

ここで、 TS_g は単位重量当たり反射強度 (dB)、 W は乾燥重量 (g) を表す。なお、乾燥重量はパルスの長さに当たる海藻の中央部 45cm の重量とした。

④ 藻場の SA 値の算出

3-3で求めた各種海藻の TS_g を、単位面積当たり ($1m^2$) に繁茂する海藻の最大と最小の乾燥重量にそれぞれ乗じることで SA 値の幅をアマモ場、ガラモ場、クロメ場としてそれぞれ算出した。最小乾燥重量は1藻体当たり乾燥重量の最小値とし、最大乾燥重量は京都海洋センターが若狭湾で実施した過去の単位面積 ($1m^2$) における坪刈調査で得られた乾燥重量の最大値を用いた。

$$TS_g \times W_{\max} = SA_{\max} \quad (2)$$

$$TS_g \times W_{\min} = SA_{\min} \quad (3)$$

W_{\max} 、 W_{\min} は最大、最小の単位面積当たり乾燥重量、 SA_{\max} 、 SA_{\min} は最大、最小の単位面積当たり反射強度を表す。

⑤ ウェーブレット解析による音響反射波形の解析

後方散乱波形の周波数応答解析により、藻場と底質を合わせた反射波特性を抽出し藻場の種類を分類する方法を検討した。計量魚群探知機による反射波データはその原理から発信されたパルスが海底に反射し、再び送受波器で受信されるまでの時系列データとして得られる。本研究では時間と周波数情報の両方を同時に得られる離散ウェーブレット解析 (Discrete Wavelet analysis) により、この反射波の時系列データの周波数応答解析を行うことで、周波数ごとに算出された係数の最大値 (以降、係数値と表記) を各種藻場ごとに比較することで種類判別を試みた。

⑥ ウェーブレット解析に用いるデータ

解析に用いたデータは、京都府若狭湾の藻場に加えて、広島県竹原市高崎町 阿波島・生野島、北海道厚岸町 厚岸湖、岩手県山田町 山

田湾にて、若狭湾と同様の音響計測により得られた音響データとした。ウェーブレット解析には Microsoft Visual Studio 2008 (Microsoft 社製)により作成したプログラムを使用した。

ウェーブレット解析では、解析に用いるデータ個数は 2 のべき乗でなければならない。よって、本研究では解析に 1 ピング当たりの時系列順に表されたエコーグラムのパixel 512 個を用いた。また、扱うデータ範囲は、海底の 1 次反射から時系列順に数えて 512 個のデータとした。藻体の大きさによる 1 次反射の波形への影響を考慮し、時系列として、パルスが発信されてから海底に反射するまでのデータは除外した。データ解析ではレベル-1~レベル-8 までの 8 段階の周波数レベルでウェーブレット係数を時間方向に計算した。なお、本研究ではマザーウェーブレットとして、 $N=3$ 、 $N=2$ 、 $N=1$ ($N=1$ は Haar のマザーウェーブレットと等価)の異なる 3 種類のマザーウェーブレットを用いて解析を行った。

4. 研究成果

(1) 海藻と海水、海底の分離

海藻と海水の反射強度の差はアカモクが上端 -19.28dB、下端 -12.66dB、アマモが上端 -11.20dB、下端 -11.78dB、クロメが上端 -11.14dB、下端 -11.10dB となった。藻場の上端として設定した藻場と海水との反射強度の差は、海藻の上端と反射強度の差で最小のものであるアマモの上端値 -11.2dB を適用した。下端は反射強度が 1 ピング中で最も上昇を示した箇所の上昇後の平均値 -26.79dB であった。

(2) 海藻の単位重量当たり反射強度

各種海藻の単位重量当たり反射強度 TSg の分布では、いずれの海藻種も TSg は比較的まとまりある傾向を示した (Fig.5)。海藻それぞれの平均 TSg は、大きい順にアカモクが -66.1dB/g、アマモが -67.5dB/g、クロメが -82.3dB/g であった。

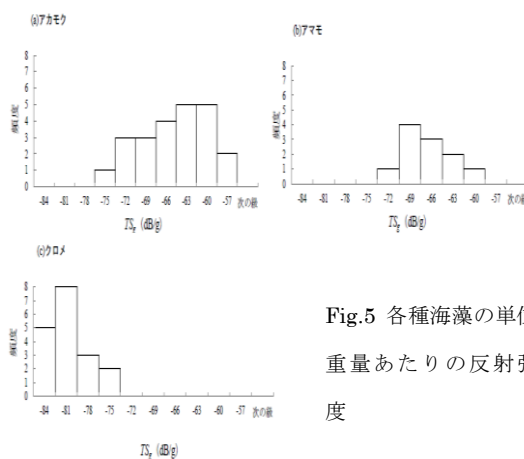


Fig.5 各種海藻の単位重量あたりの反射強度

(3) 海藻の乾燥重量と SA

各種海藻の単位面積 ($1m^2$) 当たり最小と最大乾燥重量は、アカモクが最小 $8.2 g/m^2$ 、最大 $2066.9 g/m^2$ 、アマモが最小 $1.4 g/m^2$ 、最大 $678.0 g/m^2$ 、クロメが最小 $6.3 g$ 、最大 $176.3 g/m^2$ であった。この値から海藻の単位重量当たりの反射強度を用いて求めた各種藻場の最小と最大の SA は、カモクが最小 -57.0 dB、最大 -33.3 dB、アマモが最小 -66.1 dB、最大 -39.2 dB、クロメが最小 -74.3 dB、最大 -59.8 dB であった。各種藻場の SA 重複域は、ガラモ場とアマモ場が -39.2 ~ -57.0 dB、アマモ場とクロメ場が -59.8 ~ -66.1 dB であった。

(4) ウェーブレット係数

マザーウェーブレット $N=3$ のレベル 4 でクロメ場は係数値 3000~9000、アマモ場は 9000~24000 (Fig.6)、 $N=3$ のレベル 5 でクロメ場は係数値 3000~12000、アマモ場は 12000~39000 に分布していた (Fig.7)。アマモ場とクロメ場を係数値から判別できる可能性が示唆された。一方、アマモ場とガラモ場ではウェーブレット係数値の分布に明瞭な差異が見られなかった。

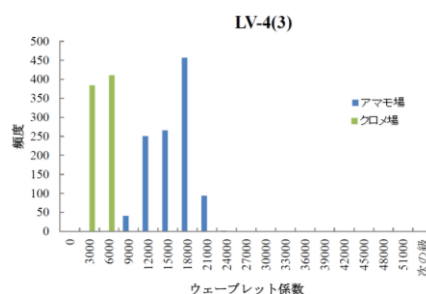


Fig. 6 LV4 におけるアマモ場とクロメ場の最大

係数値の頻度(一次反射以降)

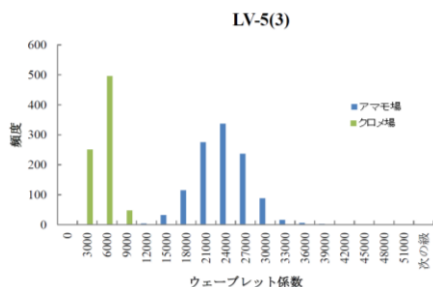


Fig. 7 LV5 におけるアマモ場とクロメ場の最大係数値の頻度(一次反射以降)

(5) ウェーブレットパワー

ウェーブレット係数値の比較により、分離が確認されたマザーウェーブレット N=3 におけるレベル 4、レベル 5 のアマモ場とクロメ場のウェーブレットパワー(WP)を比較した。レベル 4 ではクロメ場が WP 30000000~60000000、アマモ場が WP 60000000~510000000 に分布がみられた。レベル 5 ではクロメ場が WP30000000~120000000、アマモ場が WP 180000000 ~ 780000000、1020000000 以上に分布がみられた。ウェーブレットパワーを用いてもマザーウェーブレット N=3 におけるレベル 4、レベル 5 においてアマモ場とクロメ場を判別可能であることが示唆された。

(6) 藻場の判別方法

藻場の判別方法をまとめたフローチャートを Fig. 8 に示す。音響計測により得られた藻場の反射強度の音響情報を 1m ごとの SA 値として、①のように、その値が-33.3~-39.2 dB であった場合はガラモ場、-57.0~-59.8 dB はアマモ場、-66.1~-74.3 dB はクロメ場に分類可能である。次に、②のように、SA 値が 2 種の藻場間でオーバーラップしている値域を示した場合である。まず、ガラモ場、アマモ場間のオーバーラップ値(-39.2~-57.0 dB)であった場合は、③のように本研究で述べた解析方法以外の判別手法を検討する必要がある。④のようにアマモ場、クロメ場間のオーバーラップ値(-59.8~-66.1 dB)であった場合には、海底の 1 次反射以降の反射強度波形の離散ウェーブレット解析を試みる。

Daubechies(N=3)の LV-4、LV-5 のウェーブレット係数値、あるいは WP を本研究の結果を基に比較することでアマモ場とクロメ場を判別することが可能である。ガラモ場とアマモ場の SA 値では判別が困難である値域に関しては、その種ごとに固有の反射波特性を見出すことが出来れば、本研究で試みた離散ウェーブレット解析により、判別が可能であると考えられる。例えば、ガラモ場とアマモ場の季節ごとの分布量の違いを利用し、本研究のように深度方向の波形ではなく、航走方向の波形の解析を試みるなど波形解析による判別方法にはまだ改善の余地があり、精度の向上が期待される。また、海藻の TSg 値の精度を向上させることができれば、各種藻場の SA の値域がより分離され、音響反射強度の比較による種判別の精度を高めることができる可能性があると考えられる。また、TSg 値は、種類判別だけではなく、生物量の推定にも適用が可能である。そのため、今後、音響計測による藻場環境の評価を行う中で、その値の精度向上は重要視すべきことであると考えられる。さらに、本研究では単一種のみで組成されている藻場を扱っているが、実際にはアマモ場にはアマモ、コアマモ、スガモ、ガラモ場にはホンダワラ、ノコギリモク、アカモクといったように様々な種が混じり合って組成されている。よって、今後はさらに他種間の判別についても検討を行っていく必要がある。

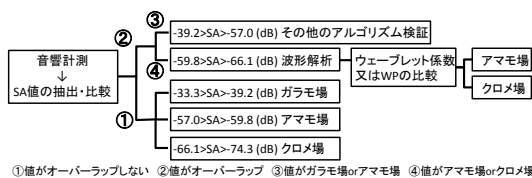


Fig. 8 音響計測による藻場の種類判別のためのフローチャート

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 10 件)

①Huamei Shao, Yuka Morita, Shiori Sonoki, Kenji Minami, Norishige Yotsukura, Masahiro Nakaoka, and Kazushi Miyashita, Spatiotemporal analysis of kelp forest distribution characteristics in sea desertification areas using acoustic and direct sensing methods, PICES 2013 Annual Meeting, October 11 2013, Nanaimo CANADA,

②園木詩織, 盛田祐加, 堀 正和, 南憲吏, 小路淳, 宮下和士, 音響計測手法を用いたアマモ場分布の季節変動の定量化, 平成 25 年度日本水産学会秋季大会, 2013 年 9 月 19 日, 三重大学(三重)

③石田太郎, 安間洋樹, 南憲吏, 道家章生, 西垣友和, 宮下和士, 藤森康澄, 若狭湾における数種の藻場の音響反射特性, 平成 25 年度日本水産学会秋季大会, 2013 年 9 月 19 日, 三重大学(三重)

④佐藤世梨華, 盛田祐加, 邵花梅, 園木詩織, 遊佐貴士, 千葉晋, 南憲吏, 宮下和士, 音響手法を用いた能取湖におけるアマモ場の現存量推定に関する研究, 平成 24 年度音響資源調査研究情報交換会, 2013 年 3 月 5 日, 第二水産ビル(札幌)

⑤園木詩織, 小路淳, 宮下和士, 音響計測手法を用いたアマモ場の季節変動の定量化と基盤サービスの試算, 平成 24 年度音響資源調査研究情報交換会, 2013 年 3 月 5 日, 第二水産ビル(札幌)

⑥Huamei Shao, Yuka Morita, Shiori Sonoki, Kenji Minami and Kazushi Miyashita, Spatial estimation of the kelp forest (*Laminaria* spp.) distributions in coastal waters of Aomori, Japan, using acoustic method, The Sixth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society, November 27 2012, Busan KOREA

⑦Shiori Sonoki, Yuka Morita, Jun Shoji and Kazushi Miyashita, Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustic method, The Sixth Annual Meeting of Asian

Fisheries Acoustics Society, November 27 2012, Busan KOREA

⑧Shiori Sonoki, Yuka Morita, Jun Shoji and Kazushi Miyashita, Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustic method, PICES-2014 Annual Meeting, October 19 2012, Hiroshima JAPAN

⑨邵花梅, 盛田祐加, 園木詩織, 藤川義一, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕, 宮下和士, 小型計量魚探の開発④コンブ林の磯焼けの動態把握に向けて, 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 2012 年 9 月 15 日, 水産大学校(下関)

⑩園木詩織, 盛田祐加, 邵花梅, 小路淳, 宮下和士, 小型計量魚探の開発③藻場の生態系サービスの定量化, 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 2012 年 9 月 15 日, 水産大学校(下関)

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮下 和士(MIYASHITA, KAZUSHI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号:70301877

(2)研究分担者

藤森 康澄(FUJIMORI, YASUZUMI)

北海道大学・水産科学研究科(研究院)・教授

研究者番号: 40261341

木村 暢夫(KIMURA, NOBUO)

北海道大学・水産科学研究科(研究院)・教授

研究者番号: 50186326