

水環境指標としてのテッポウエビ類発音数測定法の標準化

山口大学工学部 学生員○水本裕 渡辺守義 上田陽彦
山口大学工学部 正会員 関根雅彦 浮田正夫

1. はじめに

近年、沿岸域の開発などによる海域環境の改変に伴う生態系への影響が危惧されている。その影響を効果的に把握するためには、海洋生物を利用したモニタリングが有効である。テッポウエビ類は50m以浅の海中に普遍的に分布している。また大きなハサミのような脚を持ちそのハサミを用いて独特のパルス音を発する。何らかの環境変化によりテッポウエビ類の生息数が変化した場合、水中音響の録音によりテッポウエビの発音数の変化を調査するだけで、その影響を知ることができると考えられる。定点調査において平常時の水温とパルス数（一分間あたりの発音数）を把握しておくことにより、貧酸素水塊などの水質汚濁に起因するパルス数の変化を検出することが可能であることが我々の研究室の既往の研究で明らかになっている。本手法の実用化のためにはより広い水域で同様の調査を行って情報を集積することが必要である。水中音響の録音を行う測定機器はそれぞれに異なる受波感度を持っており、異なる測定機器を用いるとパルス数計数結果に相違が生じてしまい相互比較が行えない。本研究では異なる測定機器の受波感度について検討し、測定機器が異なっても同じ条件でパルス数計数が行えるよう測定方法の標準化を行った。

2. 発音数計数方法

テッポウエビの発音の録音には、ハイドロフォンとDATを用いた。図1にテッポウエビのパルス波形を示す。この波形が閾値を超え5msec以上無音部分が続いたときその波形をパルスとして認識するプログラムを用いて発音数を計数した。

3. 標準化の方法

測定機器には周波数特性がある。パルス計数をより一般的にするためには、用いる測定機器の受波感度周波数特性を一定の基準のもとに補正する必要がある。以下の手順を用いて標準化をおこなった。

3.1 テッポウエビ音の周波数解析

図2に山口県床波漁港で調査した100個のテッポウエビ音の周波数解析結果を示す。テッポウエビのパルス音は3kHz～9kHz成分が多く、この間はほぼ均一に分布していることがわかった。

3.2 測定機器の受波感度測定

東京水産大学海洋計測工学研究室の超音波実験水槽

(5m×4m, 水深3m)において測定機器のキャリブレーション実験を行った。測定対象は、ハイドロフォン+DAT, ホェールフォン+DATである。オシレータにて周波数F(kHz)の波形を作成し、出力電圧 $V_{in}(V_{rms})$ として、送波感度 $s(\mu Pa/V\cdot m)$ の送信ハイドロフォンから出力する。受信ハイドロフォンはr(m)離れた地点でこの音波を受信する。アンプ、DATを通じて、受信電圧 $v_{out}(V_{rms})$ をオシロスコープで読み取った。その計算は(1)(2)式で表される。これより受波感度M(dB) (0dB=1V/ μPa)を求められる。実験ではオシレータで周波数を変化させ、周波数ごとの受波感度を測定した。結果を図3に示す。図よりホェールフォン+DATの受波感度は-130dB前後、ハイドロフォン+DATの受波感度は-150dB前後でそれぞれ異なる周波数特性を持っている事がわかる。

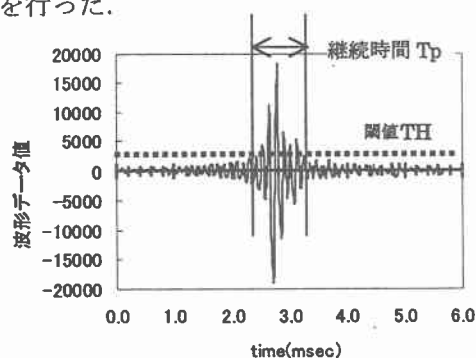


図1 テッポウエビのパルス波形

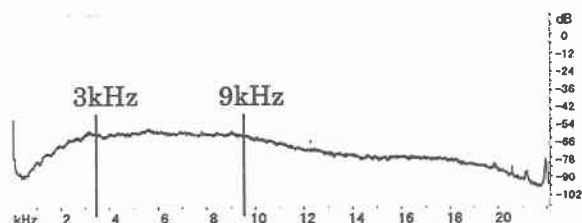


図2 テッポウエビのパルスの周波数特性

$$v_{in} \cdot s \cdot \frac{1}{r} \cdot m = v_{out} \quad (1)$$

$$M = 20 \log m \quad (2)$$

3.3 特性パラメータの決定

まず、受波感度の周波数特性がフラットな仮想のハイドロフォンの感度 $m_0 (=1.0 \times 10^{-9} (\text{V}/\mu\text{Pa}) = -180 (\text{dB}))$ を想定した。周波数解析によって求められた代表的なテッポウエビのパルスの周波数特性 $p_l (\text{dB})$ と各測定機器の受波感度と掛け合わせ、基準の受波感度 m_0 との比率として特性パラメータ γ_n を次式のようにして求められると考えた。

$$\gamma_n = \frac{\int p_l \cdot m_n df}{\int p_l \cdot m_0 df} \quad (n=1,2,) \quad (3)$$

n は各測定機器を示す

3.4 換算計数

録音データを DAT からパソコンに保存する場合パソコンにより波形データ値が異なってしまう。そこで出力電圧を波形データ値へ換算する換算係数 K を設定した。オシレータで出力電圧が $0.1\text{Vpp} \sim 0.6\text{Vpp}$ の正弦波を作成し、波形データ値として出力する。そして、波形データ値の PP 値 (Peak to Peak 値, 最大最小の差) を読み取り、波形データの PP 値 (W_{pp}) と出力電圧の PP 値 (V_{pp}) のグラフ (図 4) を作成し、その傾きを換算係数 K とした。我々の装置では $K=88440$ となった。

3.5 閾値の設定

基準となる受波感度 m_0 における閾値 TH_0 は受信距離 r (m) のとき (4) 式で求められる

$$ps (\mu\text{Pa}) \text{ はテッポウエビの代表的な音源音圧であり、} \quad TH_0 = \sqrt{2} \cdot K \cdot v_{out} = \sqrt{2} \cdot K \cdot ps \cdot m_0 \cdot \frac{1}{r} \quad (4)$$

$$\text{本式で得られる } TH_0 \text{ はハイドロフォンから } r(\text{m}) \text{ 離れた地点における音源音圧 } ps \text{ 以上のパルスを計数するという意味を持つ。基準となる閾値 } TH_0 \text{ からのその他の測定機器に対する閾値 } TH_n \text{ は (5) 式のようになる。表 1 に } r=12(\text{m}) \text{ のときの閾値と特性パラメータ、受波感度を示す。閾値はハイドロフォン+DAT では 2484、ホェールフォン+DAT では 20012 と 10 倍近い値となった。} \quad TH_n = TH_0 \cdot \gamma \quad (5)$$

味を持つ。基準となる閾値 TH_0 からのその他の測定機器に

対する閾値 TH_n は (5) 式のようになる。表 1 に $r=12(\text{m})$ のときの閾値と特性パラメータ、受波感度を示す。閾値はハイドロフォン+DAT では 2484、ホェールフォン+DAT では 20012 と 10 倍近い値となった。

4. 現地調査による閾値の妥当性

閾値の妥当性を検証するために、実海域においてハイドロフォンとホェールフォンを DAT の左右のチャンネルに接続し、同時録音を行った。録音は 12 分間行い 1 分ごとに分割しパルス数を比較した。結果を図 4 に示す。ハイドロフォンのほうが多少多く計数されたがパルス数を環境指標として用いる場合パルス数の変化はもっと大きなオーダーで見るためこの誤差は許容範囲である。よって適切な閾値の設定により測定方法の標準化が行えた。

5. おわりに

異なる受波感度の測定機器を用いても、特性パラメータを用いることにより同じ条件でパルス数計数が行えるよう測定の標準化が行えた。これにより誰でも相互比較できるパルス計数を行うことができる。

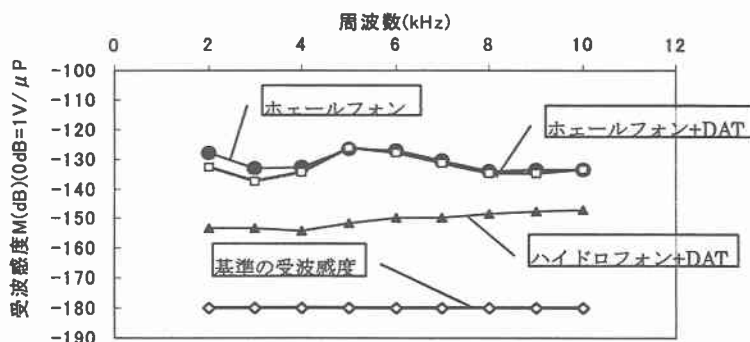


図3 受波感度周波数特性

表 1 測定機器の特性パラメータ、受波感度と閾値

	特性パラメータ	受信感度 $M(\text{dB})(0\text{dB}=\text{V}/\mu\text{Pa})$	閾値 $TH(\text{wave data value})$
基準のハイドロフォン		$M_0 = -180$	$TH_0 = 81$
ハイドロフォン+DAT	$\gamma_1 = 30.8$	$M_1 = -150.2$	$TH_1 = 2484$
ホェールフォン+DAT	$\gamma_2 = 248.3$	$M_2 = -132.1$	$TH_2 = 20012$

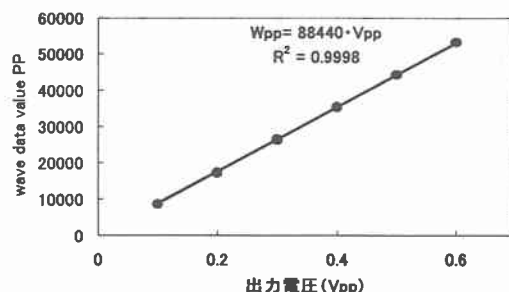


図4 出力電圧と波形データ値との関係

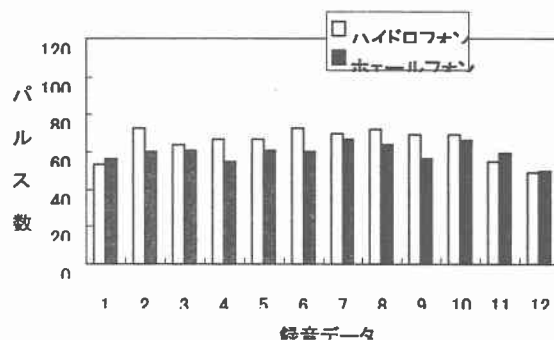


図5 2チャンネルの同時録音結果