

画像処理を用いた水中テンプラノイズのパルス数計測法について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-05-31 キーワード (Ja): キーワード (En): underwater Acoustics, TEMPURA noise, marine environment, image processing 作成者: 倉本, 和興, 田中, 隆博, KURAMOTO, Kazuoki, TANAKA, Takahiro メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15053/0000000199

【論文】

画像処理を用いた水中テンプラノイズのパルス数計測法について

倉本 和興¹ 田中 隆博²

A Measurement Method for Number of the Pulses of Underwater TEMPURA Noise by Image Processing

Kazuoki Kuramoto¹ and Takahiro Tanaka²

Abstract

When we measure an underwater sound in summer at the coastal zone such as Seto Inland Sea, it is well observed that the peculiar crackling noise of “pachi pachi” as if in frying the “TEMPURA” was apparently intermingled with the ship noise less than 1 [kHz]. We call this TEMPURA noise. It is said that the tone pulse (duration time is about 1 [ms]) was occurred by accompanying with the spouting of the water by rapidly closing the one side scissors greatly developed of a snapping shrimp. In the field of underwater acoustics, TEMPURA noise has consistently been treated as a noise of an unnecessary one. Recently, there is a trend to utilize TEMPURA noise positively as a sound source of the circumference noise imaging sonar or to utilize the number of pulses as an index for marine environment and bottom material evaluation, etc. However, details of occurrence frequency or distribution of TEMPURA noise itself are unclear and an evaluation method of the number of pulses has not also been determined. In this study, a new evaluation method of the number of pulses (for example, pulses per unit time) is discussed. Because we devised a new technique to measure the number of pulses by using the image processing. In addition, by using the new technique, we report the TEMPURA noise measured at a pier of Japan Coast Guard Academy along with the marine environment data.

Keywords: underwater acoustics, TEMPURA noise, marine environment, image processing

1 はじめに

瀬戸内海などの沿岸域において、特に夏季において水中音響を計測してみると、1kHz以下の船舶雑音などの他にパチパチというあたかもテンプラを揚げている時のような独特のパルス性雑音が多く混在している場合がある。これはいわゆる“テンプラノイズ”と呼ばれているもので、テッポウエビ類の片方の大きく発達したはさみを急激に閉じる時に水の噴出を伴い、パルス音(継続時間は約1 [ms])を起こすことで生じると言われている。これまでの水中音響の分野では、テンプラノイズはあくまでノイズとして邪魔者扱いとされてきたが、近年、積極的に周囲雑音イメージングソーナーの音源として利用しようとする研究^{1,2)}や、そのテッポウエビの

発音数(パルス数)の変化を海洋環境の指標、底質評価等に利用しようとする動き^{3,4)}がある。しかしながら、これまでのところテンプラノイズそのものの発生頻度や分布状況の詳細は未解明な点が多く、発音数の評価方法についても確立されたものは見当たらない。

一方、海洋環境及び水中音環境はいずれも季節、海域、水深などによって大きく異なってくることが知られている⁵⁾。従って、特定の海域の水中テンプラノイズを正確に評価するためには、水温、塩分濃度、pH、溶存酸素濃度等の海洋環境データと共に水中音響データを継続的に同時計測し、テンプラノイズの発生条件、頻度を把握すると共に、幾つかの測定ポイントで同様の測定を行ってその分布状況を

Received November 15, 2012

¹ 海上保安大学校 海事工学講座 kuramoto-c3u6@jcga.ac.jp

² 海上保安大学校 海事工学講座 tanaka@jcga.ac.jp

調べるのが重要となる。

本研究では、テンプラノイズの発音数の変化（単位時間当たりのパルス数）を評価する一方法として、取得した音響データを画像データに変換し、その後汎用の画像解析ソフトでパルス数を計測する新たな手法を考案したので本手法について考察する。加えて、本校のこじま栈橋において、四季（夏、秋、冬、春）の一昼夜 25 時間の毎時におけるテンプラノイズを海洋環境値と共に同時計測し、今回提案した新たな手法によりパルス数を推定したのでその結果について報告する。

2 水中音響および海洋環境データの取得

水中テンプラノイズの観測は、呉市吉浦湾の東側に位置する本校のこじま栈橋（水深約 15 [m]）において行った。図 1 に示すように栈橋から水中ハイドロフォン（受波感度 -178 [dB re 1V/ μ Pa]、20 [kHz] まで平坦な周波数特性）および水質センサを海中に垂らし、海面および海底からそれぞれ約 1 [m] の位置で各データの取得を行った。観測日時は、夏季（2011 年 8 月 1 日～2 日）、秋季（11 月 11 日～12 日）、冬季（2012 年 2 月 10 日～11 日）および春季（5 月 25 日～26 日）で、一昼夜 25 時間にわたり 1 時間毎に行った。水中音響は、付近に雑音源となる航行船舶がないことを確認の上、約 2 分間録音した。海洋環境データは、水温、塩分濃度、pH、溶存酸素濃度（DO 値）、電気伝導度、濁度である。測定装置については前回の報告⁵⁾を参照のこと。

3 画像処理を用いたパルス数計測法

水中テンプラノイズの評価方法としては、例えばテッポウエビの発する 1 分間当たりの発音数（パルス数）を調べるのが 1 つの方法である。パルス数の計測方法は、計測された音圧レベル波形を時系列に一つ一つカウントして行けば良いが、これは莫大な時間と労力が必要となる。また、継続時間が約 1 [ms] でその間に十数波のパルスが存在する鋭いパルス群（バースト波）になっているために、閾値を設定するだけでは単純にはパルス数を計測できない。

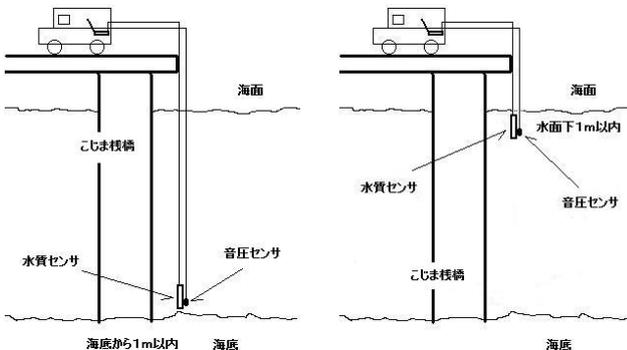


図 1 こじま栈橋での水中音響と海洋環境データの同時計測。栈橋から水中ハイドロフォンと水質センサを海中に垂らし、海面および海底からそれぞれ約 1 [m] の位置で、1 時間毎に計測。

渡部らは C++言語により計測プログラムを開発し、パルスと見なせる閾値、無音部の継続時間をパラメータとして設定することで録音した水中音響の WAV ファイルからパルス数を計測する手法を提案している^{3,4)}。しかしこれを実現するためには、新たにプログラムコードを作成する必要があり、さらにパルスの重なりなどがある場合には本手法によって正確なパルス数を計測出来ないなど幾つかの問題点がある。本研究では、時間軸 1 次元の音響データを画像データに変換し、汎用の画像解析ソフトを用いることでテンプラノイズのパルス数を計測する新たな手法を考案した。画像処理を用いたパルス数の計測手順のフローチャートを図 2 に示す。以下、このフローチャートに従って信号処理法について述べる。本手法の意義とメリットは以下の通りである。

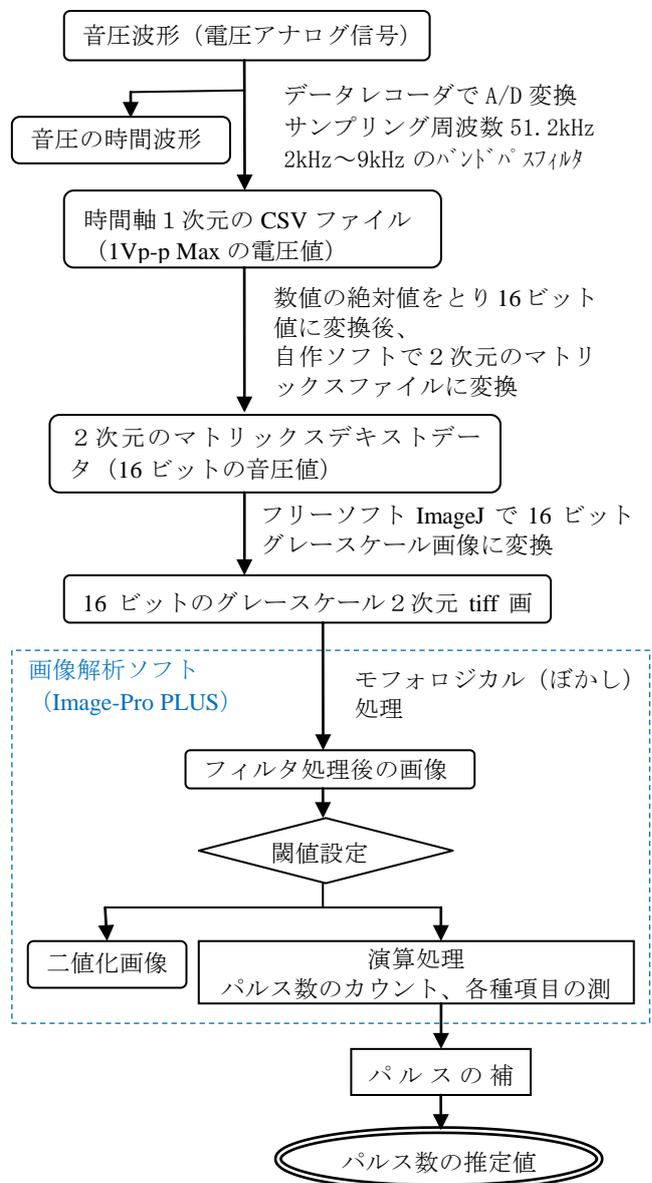


図 2 画像処理を用いたパルス数計測手順のフローチャート

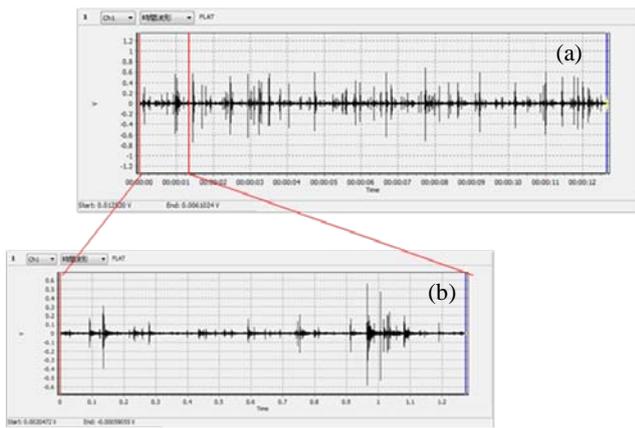


図3 解析に用いた水中テンプラノイズの一例
(2011年8月2日0300頃にかじま棧橋の海底から約1[m]付近で観測したもので、2~9[kHz]のバンドパスフィルターを通し、51.2[kHz]の周波数でサンプリング) (a)は12.8秒間の音圧の時間波形、(b)は最初の1.28秒間を拡大。

- ① 音響データを画像データに変換して処理・評価する手法はこれまでに全く見当たらず、新たな手法である
- ② テンプラノイズは複数個体のテッポウエビのランダムな発音に由来するためパルスの重なりなども多く、重なった継続時間から何個分かのパルスに相当するかを推定できる

- ③ 膨大なテキストデータをバイナリーの画像データとして扱えるので処理が容易となる
- ④ 長大な時間軸一次元で表された音響データを画像として見る事が出来、処理の過程や評価の状況が一目瞭然となる
- ⑤ 新たなコードの開発を行うことなく汎用のソフトで手軽に処理が可能となる

3.1 音響データから16ビットグレースケール画像への変換

まず電圧のアナログ信号である音圧波形から16ビットのグレースケール2次元画像への変換を行う。取得した水中音響データを実験室において再生し、船舶雑音などの低周波ノイズを取り除きテンプラノイズのみを取り出すために2~9[kHz]のバンドパスフィルターを通してデータレコーダ(リオンDA-40)によりA/D変換を行う。ここで、サンプリング周波数は51.2[kHz]、入力レンジは1[V]とした。一例として、2011年8月2日の0300頃の12.8秒間の音圧の時間波形を図3(a)に、また最初の1.28秒間を拡大して示したものを図3(b)に示す。以下、この拡大した1.28秒間のデータを用いてサンプル画像を作成し、パルス数の計測方法を述べることにする。このときの1.28秒間の音圧データは、縦軸 ± 1 [V]のフルスケール(電圧値と音圧値は hidroフォンの受波感度および増幅器の利得で対応付けられる(付録参照))の電圧信号で、サンプリング間隔 1.9531×10^{-5} [s] ($1/51200$ [s])の16ビット(65536

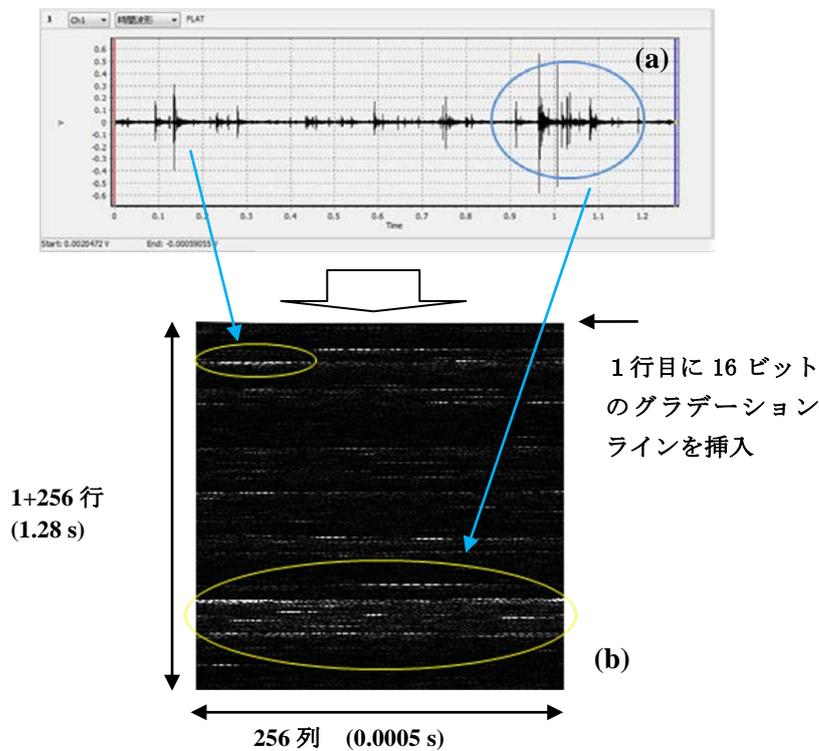


図4 時間軸にして1.28秒間の音圧の時間波形(全データ数16ビット=65536個)(a)を、横幅256列(0.0005秒間)、縦幅1+256行の16ビットグレースケール2次元TIFF画像(b)に変換。ここで、画像における16ビットの輝度値がその時刻における音圧値を表す。また、画像作成時に1行目に16ビットのグラデーションラインを挿入。

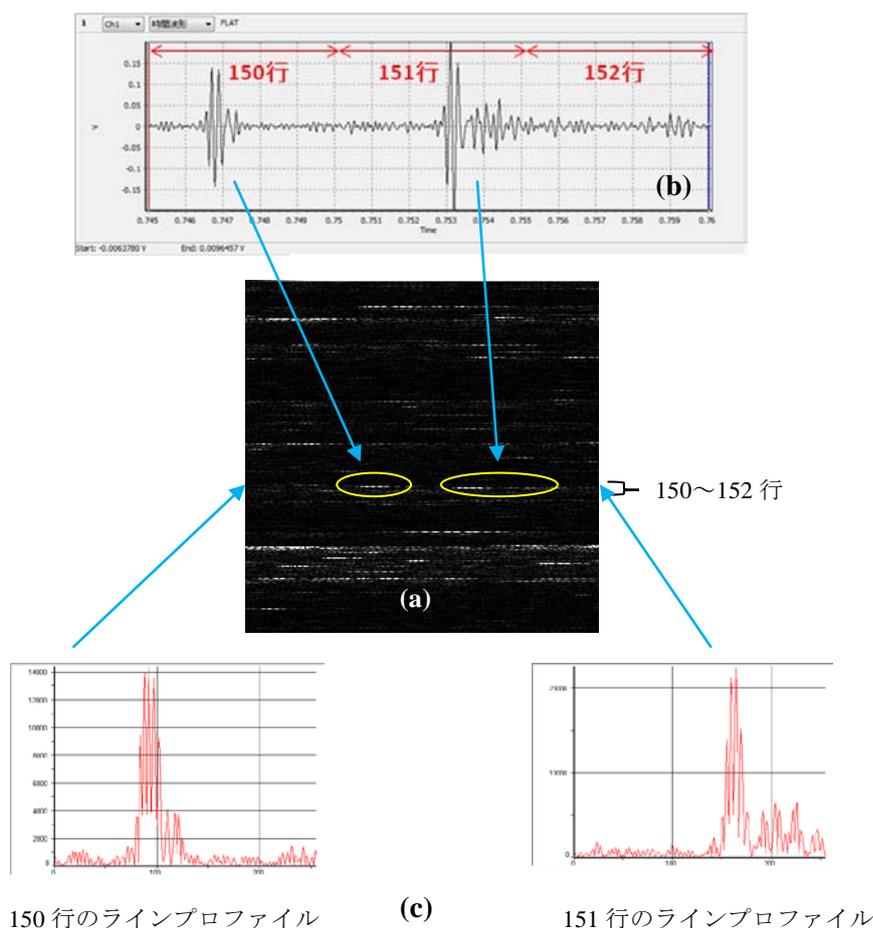


図5 例えば、作成した TIFF 画像(a)の 150 行から 152 行までの 3 行分のデータ、時間軸にすると 0.745 [s]から 0.760 [s]秒までの 0.015 秒間のデータに着目。ここで、(b)は 3 行分の音圧の時間波形の拡大図、(c)典型的なパルスが存在する画像部分の 150 行および 151 行から得られた鋭いスパイク状のラインプロファイル。

個)のデータ数を持つ時系列 1 次元に配列された長大な CSV ファイルである。図 3 (b)より、この 1.28 秒間の短い間においてもテッポウエビによると思われる明らかなパルスが幾つか発音しているのが分かる。次に、この CSV ファイルを画像の輝度値とするため Excel 2007 を利用して各データの絶対値を取り、16 ビット値に変換 (65536 を乗ずる) 後、自作ソフトにより時間軸 1 次元のテキストデータから 2 次元のマトリックステキストデータに変換する。さらにそれをフリーソフト ImageJ³により 16 ビットグレースケールの 2 次元 TIFF 画像に変換する (図 4)。つまり、図 4 (a)に示すような時間軸 1.28 秒間分の音響データ (全データ数 16 ビット= 65536 個)が、図 4 (b)のような 2 行目 1 列から始まり 257 行 256 列までの横幅 256 列(0.0005 秒間に相当)、縦幅 1+256 行の 2 次元 TIFF 画像に変換されたことになる。ここで、画像における 16 ビットの輝度値がその時刻における音圧値を表している。また、画像データの配列のチェックのため、画像作成時に 1

行目に 16 ビットのグラデーションラインを挿入している。図 4 に示す通り、図 4 (a)の時間軸の音圧波形と図 4 (b)の画像はよく対応しているのが分かる。特に、後半部分においては多くのパルスが存在することに对应して画像にも高い輝度値を持つ白線が多数表れている。

3.2 汎用画像解析ソフト (Image-Pro PLUS) によるパルス数のカウント

ここでは、3.1 で作成した TIFF 画像から汎用の画像解析ソフト (Image-Pro PLUS⁴)を用いてパルス数をカウントする手法について述べる。作成した TIFF 画像の 150 行から 152 行までの 3 行分のデータ、つまり時間軸では 0.745 [s]から 0.760 [s]までの 0.015 秒間のデータに着目する (図 5 (a))。この 3 行分の音圧の時間波形の拡大を図 5 (b)に、150 行および 151 行の画像から得られたラインプロファイル (画像の 1 行分の輝度値 (16 ビット値)を縦軸に表したものを図 5 (c)にそれぞれ示す。150 行および 151

³ ImageJ 1.45 日本語バージョン 1.0 (製造元: アメリカ国立衛生研究所(NIH))

⁴ Image-Pro PLUS 3.01J 日本語版 (製造元: Media Cybernetics 社)

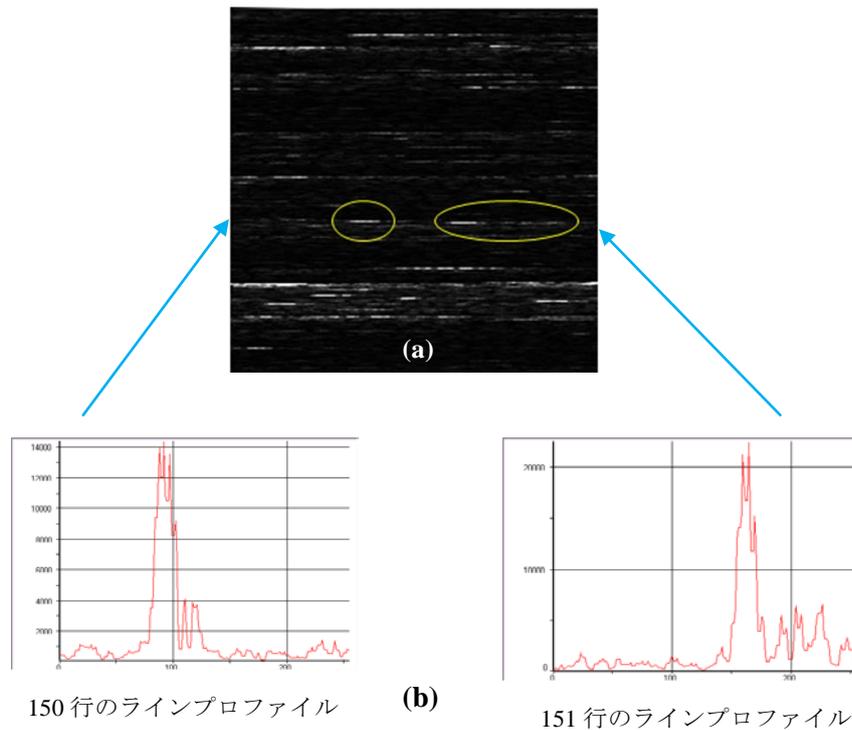


図 6 モフォロジカル（ぼかし）処理後の画像(a) と画像の 150 行および 151 行から得られたラインプロファイル (b)。波形間の隙間が埋まり、ほぼ包絡線が得られている。

行には典型的なパルスがそれぞれ発生しており（図 5(b)）、その絶対値を輝度値としているため画像上には破線（図 5(a)の丸印で囲まれた部分）のように表れ、画像から得られたラインプロファイル（図 5(c)）は時間波形のマイナス部分をプラス側に折り返した形の鋭いスパイク状の波形が表れている。

図 5(b)の様なバースト波状のパルスをパルス数 1 とカウントするためには、その包絡線を求め、一定の閾値以上の輝度を持つパルスを 1 つとして測定するのが効果的である。そこで画像解析ソフト (Image-Pro PLUS)のフィルタ処理機能の一つであるモフォロジカル（ぼかし）処理を利用する。このフィルタ処理は、画像（ここでは、横方向の 1 行内のみ）に適用）において、輝度値の極端に異なる部分がある場合に隙間を埋め、接近した画像（ピクセル）を接続してぼかせる機能を持つ。フィルタ処理を施した結果の画像を図 6(a)に、150 行および 151 行の画像から得られたラインプロファイルを図 6(b)にそれぞれ示す。鋭いスパイク状の波形間の隙間が埋まり、バースト波状パルスのほぼ包絡線が得られているのが分かる。

次に、閾値を設定して、画像解析ソフトの演算処理機能（閾値以上のオブジェクト数のカウント、オブジェクトの各種項目の測定）を利用する。ここでは、手動で閾値を 4600 に設定し（閾値はパルスカウント数に敏感に効いてくる重要なパラメータであるため、設定方法、妥当性については 4 章で改めて議論する）二値化を行うと共に、閾値以上の輝度を持つオブジェクトの数（パルス数に相当）とオブジェクトの各種項目を計測する。図 7(a)に二値化された画像を、(b)に 150 行から 152 行までの時間波形

の拡大図と共に示す。150 行および 151 行のバースト波状のパルスはそれぞれ 1 つのオブジェクト (Obj.#27 および 28) として判断され、1 つのパルスとしてカウントされているのが分かる。表 1 および 2 に、画像解析ソフトにより測定を行った分析結果の一部とオブジェクトの各測定項目の統計データをそれぞれ示す。測定項目としては、各オブジェクトのピクセル数 (Area)、2 次元画像上の座標 (center-x, center-y)、全画像に対する面積比 (PerArea) を選んでいる。ここで、表 2 の Samples がオブジェクトの全カウント数、つまりサンプル画像上に存在する全パルス数に相当する。表 1 における Obj.#27 および 28 が 150 行および 151 行のバースト波状のパルスであり、閾値以上の幅としては 20 ピクセル程度（時間に換算して約 0.4 ms）で典型的なテッポウエビのパルス幅（継続時間は約 1 [ms]）と矛盾しない。一方、Obj.#22 および 23 のようにピクセル数として 3 にも満たないものも 1 つのオブジェクトとしてカウントされており、さらに Obj.#38 のようにピクセル数が 84 にも達し明らかにパルスが重なり合っていると思われるものもオブジェクト数 1 としてカウントされている。図 8(a)に Obj.#22 および 23、そして Obj.#38 の二値化画像での画像上での位置を丸印で示し、図 8(b)には Obj.#38 が存在する 193 行から 195 行の時間波形の拡大図を示す。時間波形から見ても Obj.#38 は何個かのパルスが重なり合っているのが確認できる。

3.3 パルス数の補正

画像上に存在する正確なパルス数を推定するため、以下のような補正を行った。まず、表 1 のオブ

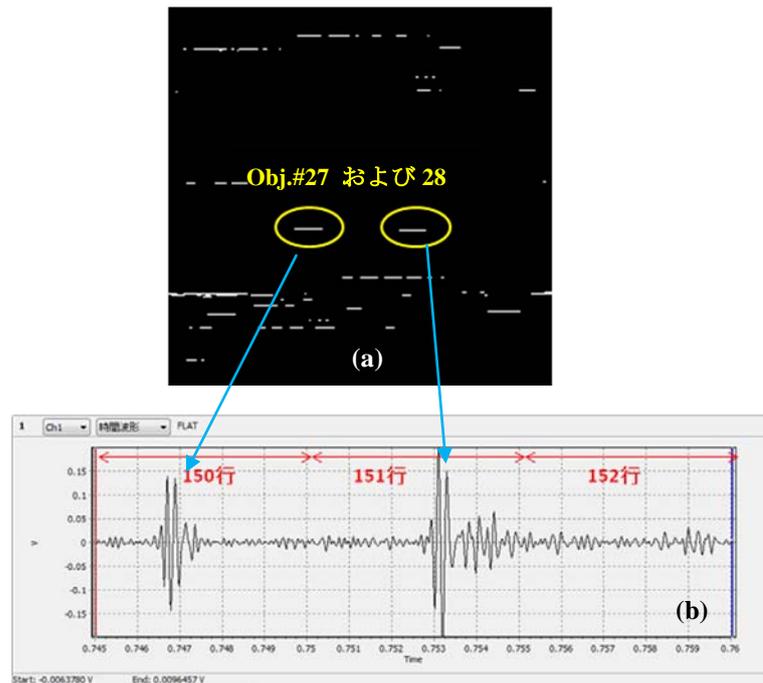


図7 閾値を設定して二値化した画像 (a) と 150 行から 152 行までの音圧の時間波形の拡大図 (b)。典型的なバースト波状のパルスは、Obj.#27 および 28 としてそれぞれ 1 つのパルスとしてカウントされている。

ジェクト計測時の分析結果におけるピクセル数の頻度分布をとると、3 以下と 7 以上で分布が分かれており、ピクセル数 3 以下のものは遠方からの減衰したパルスの一部またはスパイクノイズがたまたま計測されたとして全パルス数からその数だけ除外する。今回のサンプル画像においては、ピクセル数 3 以下のものは 25 個であった。次に、典型的なテッポウエビのパルスの継続時間が約 1 [ms]である

ことから、単独パルスの包絡線の閾値以上の幅としてピクセル数は 25 (時間にして 0.5 [ms]) 程度と見なせる。そこで、ピクセル数 25 以上のものは幾つかのパルスが重なって 1 つのオブジェクトとしてカウントされていると仮定し、ピクセル数 25 で除して何個分のパルスに相当しているのかを推定する。今回のサンプル画像の場合は、Obj.#38 のオブジェクトのみがピクセル数が 25 以上の 84 であり、 $84/25 = 3.36$ となってほぼ 3 つ分のパルスに相当していると判断される。よって、本章で解析に用いた 256×257 のサンプル画像 (図 3 (b) の 1.28 秒間の音圧の時間波形に相当) に存在するパルス数は、

表 1 オブジェクト計測時の分析結果 (抜粋)

Obj.#	Area	Center-X	Center-Y	PerArea
21	11	239	56	0.000167
22	1	5	57	1.51E-05
23	2	250.5	118	3.03E-05
24	6	14.5	119	9.11E-05
25	8	34.5	119	0.000122
26	11	47	119	0.000167
27	19	93	150	0.000289
28	18	162.5	151	0.000274
29	7	119	183	0.000106
30	12	133.5	183	0.000182
--	--	--	--	--
36	3	209	193	4.55E-05
37	19	250	194	0.000289
38	84	26.5	194	0.001277
39	1	91	194	1.51E-05
40	15	62	195	0.000228

$$\begin{aligned}
 & 60 \{ \text{初めのパルスカウント数} \} \\
 & \quad - 25 \{ \text{スパイクノイズ数} \} \\
 & + (3-1) \{ \text{パルスの重なり部分の補正} \} \\
 & = 37 \{ \text{パルス数の推定値} \}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

と推定される。

表 2 オブジェクト計測時の統計データ

	Area	Center-X	Center-Y	PerArea
Min	1	5	19	1.51E-05
(Obj. #)	7	22	1	7
Max	84	250.5	239	0.001277
(Obj. #)	38	23	60	38
Mean	8.7	111.40	136.37	0.000132
Std. Dev	11.550	67.119	79.805	0.000176
Sum	522	6684.3	8182.3	0.007934
Samples	60	60	60	60

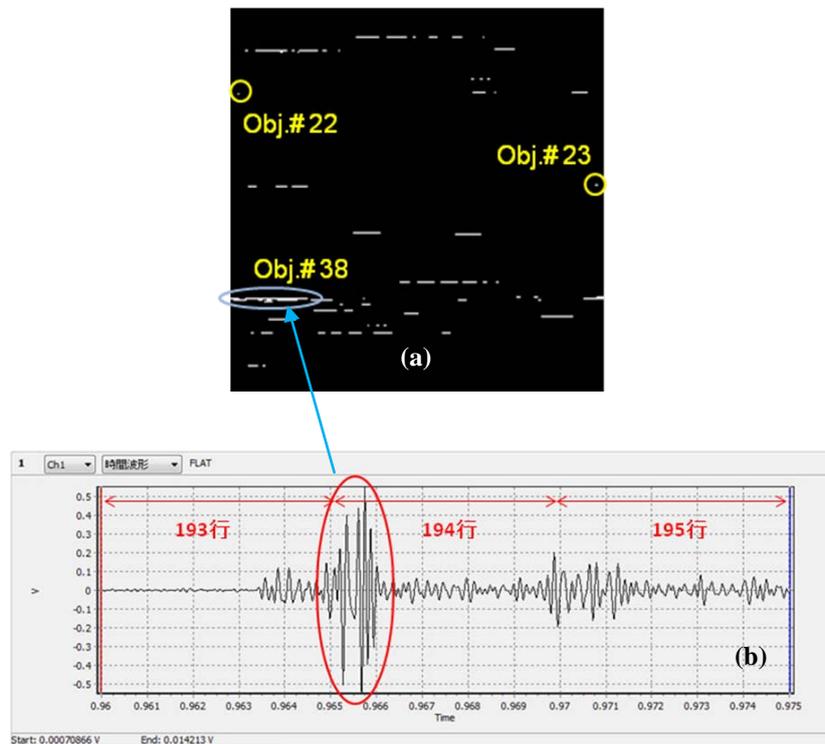


図8 パルス数の補正。Obj.#22 および 23 のようなピクセル数 3 以下のものは遠方からのパルスの一部またはスパイクノイズを計測していると判断し、除外。Obj.#38 のようなピクセル数 25 以上のものは幾つかのパルスが重なって 1 つとカウントされていると判断し、何個分のパルスに相当するかを推定。

4 結果と考察

4.1 各季節のテンプラノイズの発音数（パルス数）の変化について

各季節の一昼夜 25 時間の毎時において、海面および海底付近で約 2 分間観測された音響データから 20 秒間⁵ をそれぞれ TIFF 画像に変換し、3 章の画像処理を利用したパルス数の計測法により水中テンプラノイズの発音数の推定を行った。ただし、変換された画像は、サイズ 1024 × 1025 の 16 ビットグレースケール TIFF 画像である。一例として、同じ時間帯である午前 3 時頃に夏季と冬季の海底付近で計測された音響データから作成された二値化画像を図 9 に示す。図 9 (a) の夏季においてはテッポウエビによるパルスが 20 秒間絶え間なく頻繁に発音しているのに対し、図 9 (b) の冬季においては一部発音しているだけでその頻度は極端に減少しているのが一目瞭然と読み取れる。次に、今回提案された画像処理を用いた計測法で求めた、海底付近で観測された 20 秒間の季節別パルス数の時間変化を図 10 に纏めて示す。夏季と冬季でパルス数は大きく異なり、春と秋においてはその中間に位置している。尚、今回のパルス数の結果は、1 分間当たりのパルス数に換算して渡部らの各季節で観測された結果^{3,4)} と比較してもほぼ同程度の値となっている。一方、音

圧測定と同時計測した海洋環境データのうち、パルス数と関係すると思われる海底付近の水温および溶存酸素濃度(DO 値)について、季節別の時間変化として描いたものを図 11 に示す。一般にテッポウエビは、夏季において水温の上昇と共に個体数も増えて活性化し、お互いの縄張り争いに乗じて威嚇のために頻繁に発音すると言われている⁶⁾。冬季においては水温が低下と共に個体数は減少又は死滅し、ほとんどパルス性雑音を発しない。図 10 と図 11 を比較すると、テッポウエビの発するパルス数と水温は直接関係しているのが分かる。また、貧酸素水塊が発生している海域、つまり溶存酸素濃度(DO 値)がおよそ 2.0 [mg/L] 以下になるとテッポウエビの生存率が低下し、さらにこれが続くと死滅してパルス性雑音は発音しなくなると言われている^{3,4)}。図 11 (b) によると、夏季の海底付近の DO 値でも 4~5 [mg/L] 程度でありエビの生存率に影響する程の値ではなく、今回はパルス数との直接の相関はないと思われる。DO 値とパルス数との関連については、テンプラノイズを海洋環境の指標に利用する根拠になっているところであるが、DO 値が最も低下する夏季の海底付近における様々な海域を計測し両者の関連を改めて調査する必要がある。また、日没と共にパルス数が増大するという報告⁷⁾があるが、今回の結果(図 10)からは日没時での顕著な変化は見られていない。

4.2 閾値の設定について

閾値の設定はパルス数を求める上で大きく影響

⁵ Excel 2007 で扱える最大行数は $2^{20} = 1048576$ で、時間に換算するとサンプリング間隔 1/51200 [s] を乗じた 20.48 [s] が上限となるため、今回は 20 秒間とした。

してくる。3章では手動で閾値の設定を行ったが、ここでは2通りの推定法について提案し、手動時に用いた閾値が妥当であるかを考察する。

第一に、パルス継続時間から推定する方法について述べる。まず、音圧の時間波形からテッポウエビの典型的な単独パルスに着目し、作成した画像ファイルからもラインプロファイルを確認する。次に、一つのパルスが画像の中で1個分のパルスとカウントされ、且つそのパルスの継続時間として約 0.5 [ms] (サンプリング周波数 51.2 [kHz]の場合、25 ピクセル分の長さ) になるような閾値 (16 ビットの画像輝度値) を設定する。今回の3章で採用したサンプル画像 (256×257) では、この第一の方法を用い、閾値としては 4600 と手動で設定した。

第二に、音源音圧から推定する方法について述べる。計測する範囲を半径 10 [m]の円と仮定し、この

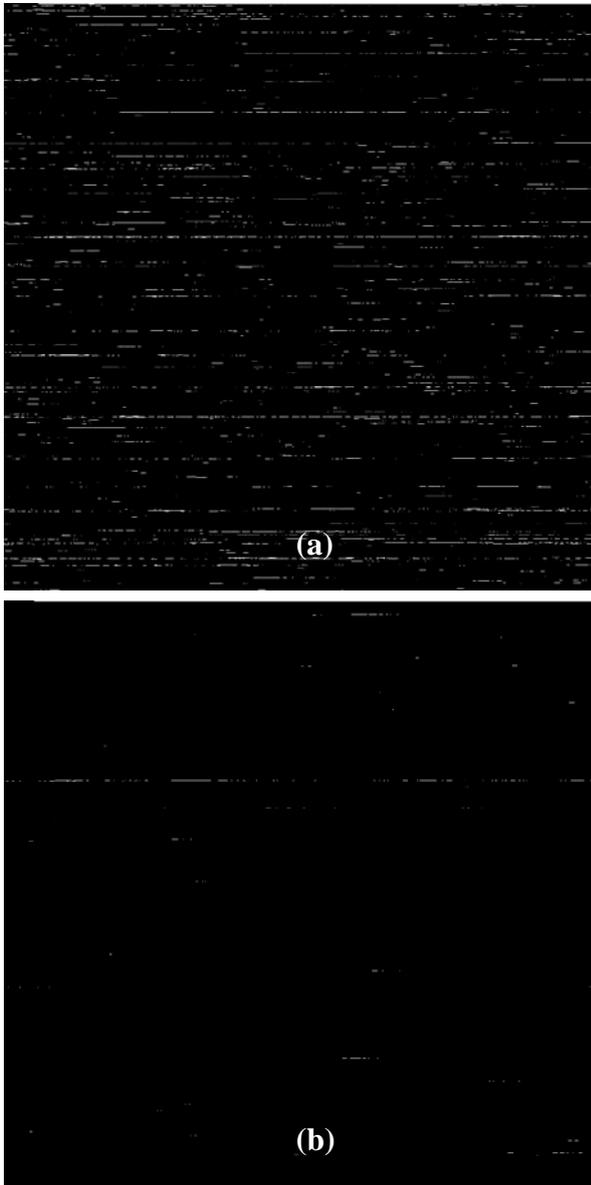


図9 こじま栈橋の午前3時頃に海底付近において計測された音響データから作成された二値化画像 (20秒間、サイズ 1024 × 1025 の画像) (a) 夏季 および(b) 冬季

計測範囲以外からのテッポウエビの発音パルスは計測しないこととする。音圧の距離 r [m]における距離減衰係 (Transmission Loss : TL) は次式より求められる。

$$TL = 20 \log r \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

今、 $r = 10$ [m] であるので $TL = 20$ [dB]となる。渡部らの報告によれば^{3,4)}、テッポウエビの音源音圧レベルは 137.6 および 135.6 [dB re 1 μ Pa]であるので平均をとって 136 [dB]とし、 $136 - 20 = 116$ [dB] 以下のパルスは計測範囲以外の遠方からのパルスとみなす。従って、音圧の閾値を 116 [dB]と設定すると、これに相当する電圧値 v は次式 (付録を参照) より求められる。

$$SPL = 20 \log v - M - G \quad (3)$$

ここで、 $M = -178$ [dB re 1V/ μ Pa]、 $G = 40$ [dB]であるから、 $SPL = 116$ [dB]の場合、

$$20 \log v = 116 - 178 + 40 = -22 \quad (4)$$

よって、 $v = 10^{-\frac{22}{20}} = 0.07943$ となり、閾値としての電圧値は 0.07943 [V]になる。今回のサンプル画像 (256×257) では、16 ビット画像を作る際に電圧を 65536 倍しているのので、画像輝度値としての閾値は 5205 となる。パルス数をカウントする際に手動で設定した 4600 と大差はなく、妥当な閾値と思われる。

4.3 テッポウエビの音源音圧レベルについて

テッポウエビの音源音圧レベル (音源としてどれだけの音圧レベルを出しているかを計測結果から距離減衰係を加算して音源音圧レベルを推定したもの) については異なる報告がある。森らは 100 [kHz]までの広帯域のハイドロフォンで計測し、1 [MHz]のサンプリングレートでサンプリングした結果、160~190 [dB]の値になることを報告している^{7,8)}。また渡部らは、20 [kHz]までの帯域のハイドロフォンで計測し、2 ~ 9 [kHz]のバンドパスフィルターを通して 44.1 [kHz]のサンプリングレートでサンプ

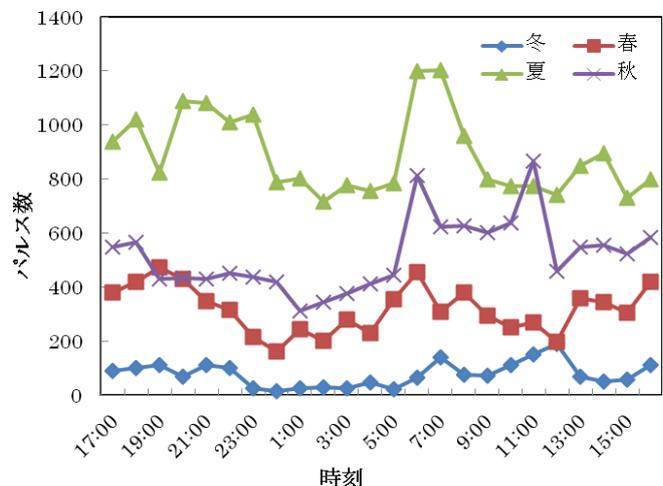


図10 画像処理を用いた計測法で求めた、海底付近で観測された20秒間の季節別パルス数の時間変化

リングした結果（我々の測定条件とほぼ同じ）、135～137 [dB]の音圧レベルになると報告している^{3,4)}。テッポウエビの発生するパルスは、継続時間が約 1 [ms]の鋭いバースト波であり、その周波数特性は 2 ～ 9 [kHz]に緩やかなピークをつくるものの 100 [kHz]以上にまで渡ってブロードな広帯域特性を有している。従って、テッポウエビの音圧レベルを求める際には、パルスを計測する時の hidroフォン の帯域、フィルタ等の帯域制限の有無、A/D 変換するサンプリング周波数に大きく左右されることになる。これがテッポウエビの音源音圧レベル値が報告者によって大きく異なってくる原因と考えられる。また、エビの種類、個体ごとも音源レベルに 20～30 [dB]の違いがあり、それが原因となっていることも考えられる。

本研究においては、単一 hidroフォン で計測しているため、発音したテッポウエビの音源位置を推定することが出来ず、距離減衰を見積ることが出来ない。そのため、音源音圧レベルを推定するところまでには至っていないが、正確なテッポウエビの音圧レベルを計測するためには、少なくとも 100 [kHz]までの周波数帯域を持つ hidroフォン で計測し、帯域制限は低周波ノイズのみを取り除くためのハイパスフィルタのみとし、少なくとも 1 [MHz]以上のサンプリングレートでサンプリングを行う必要があると思われる。

5 おわりに

本論文では、水中テンプラノイズの発音数の変化（単位時間当たりのパルス数）の評価方法として、取得した音響データを画像データに変換し、その後汎用の画像解析ソフトでパルス数を計測する新たな手法を提案した。さらに本校のこじま栈橋において、各季節の一昼夜 25 時間の毎時に水中音響と海洋環境を計測し、今回提案した画像処理を用いたパルス数計測法によって 20 秒間当たりのパルス数を求め、海洋環境データとの関係について考察を行った。今後の課題としては、以下の様な項目が挙げられる。

- ① 季節、時間の違いだけでなく、海域の違いによるテンプラノイズの発音分布状況を把握する
- ② 計測時間を 20 秒間以上の長い時間に対応できるようにする
- ③ 音源音圧の正確なピーク値を求める際には、100 [kHz]までの平坦な周波数特性を持つ hidroフォン でテッポウエビの発するパルスの計測を行い、1 [MHz]以上のサンプリングレートで A/D 変換を行う
- ④ 25 時間一昼夜にわたる連続測定に対応するため、自動測定システムを構築する
- ⑤ 画像でのパルス計測において、行変更時に生ずる見かけ上のパルス数の補正を行う

今後、今回提案した画像処理を用いたパルス数計測法の有効性を確認すると共に、テンプラノイズの発生条件、頻度、分布状況を把握するために、海洋環境データと水中音響データの同時測定を幾

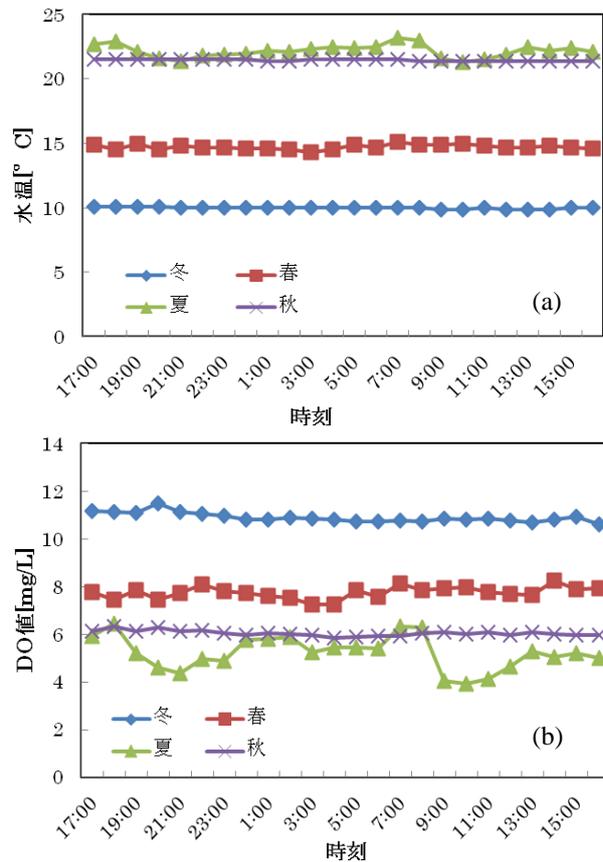


図 11 海底付近で観測された季節別の海洋環境データの時間変化 (a) 水温および(b) 溶存酸素濃度(DO 値)

つかの海域で継続的に行って多くのデータを蓄積してゆく予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり多大な援助を頂いた海上保安大学校訓練部の方々、および海上計測において協力頂いた基礎教育講座の川村紀子准教授、並びに鈴木将友、五嶋大樹、宇佐美千佳の各学生諸君に感謝の意を表する。

付録A： 音圧値と電圧値との関係（デシベル表示）について

水中の“音”とは媒質である水の圧力変化（粗密波、縦波）であり、音圧値として扱われる。さらに水中の音圧は、平坦な周波数特性を持つ hidroフォン で電圧値として計測されるのが一般的である。ここで、音圧値 p [μPa] と電圧値 v [V] との関係を決める比例定数が受波感度 m [V/μPa] と言われるもので、hidroフォン固有の値となっている。また水中の音圧変化は極めて小さな値であり、電圧値に換算する際には通常アンプを通して増幅を行うため、これらの間には以下の関係が成立する。

$$p = v \times \frac{1}{m} \times \frac{1}{g} \quad (\text{A-1})$$

ここで、 g は増幅器の利得である。

今、(A-1)式の対数（デシベル表示）を採り、それを *SPL* (Sound pressure level) とすると、

$$\begin{aligned} SPL &= 20 \log p = 20 \log \left(v \times \frac{1}{m} \times \frac{1}{g} \right) \\ &= 20 \log v - M - G \end{aligned} \quad (\text{A-2})$$

ここで、*M* および *G* は受波感度 *m* および利得 *g* をそれぞれデシベル表示したもので、

$$\begin{aligned} M &= 20 \log m \\ G &= 20 \log g \end{aligned}$$

である。

本研究において使用したハイドロフォンの受波感度は $M = -178$ [dB re 1V/μPa] で、増幅器の利得は $G = 40$ [dB] であったので、(A-2)式に代入すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} SPL &= 20 \log v + 178 - 40 \\ &= 20 \log v + 138 \end{aligned} \quad (\text{A-3})$$

従って、例えば電圧 $v = 1$ [V] は、 $SPL = 138$ [dB] の音圧に相当する。

逆に $SPL = 100$ [dB] の音圧は、 $20 \log v = -38$ より

$$v = 10^{\frac{-38}{20}} = 0.0126 \text{ [V]} \quad (\text{A-4})$$

の電圧に相当することになる。

参考文献

- 1) Epifanio et al., Imaging in the ocean with ambient noise: the ORB experiments, J. Acoust. Soc. Am., 106(6) (1999), 3211-3225.
- 2) Venugopalan et al., Ambient Noise Imaging - First Deployments of ROMANIS and Preliminary Data Analysis, Proc. IEEE Oceans 2003, No.882 (Sept.22-26, San Diego, 2003).
- 3) 渡部守義他, テッポウエビを用いた海域環境のモニタリング, 土木学会論文集, 643/VII-14 (2000), 49-60.
- 4) 渡部守義他, 浅海域環境評価を目的とした水中音響観測によるテッポウエビ類生息密度測定, 土木学会論文集, 713/VII-24 (2002), 69-79.
- 5) 倉本和興, 呉湾周辺海域の海洋環境と水中音響環境の計測 -夏季と冬季の深度依存性の違い-, 海上保安大学校研究報告 第 55 巻第 1・2 号 第 2 部(2012), 25 - 34.
- 6) 林憲一, 日本産エビ類の分類と生態, 生物と海洋 108, vol.19, no.1 (1997), 46-49.
- 7) 森和義他, 沿岸域生物雑音におけるパルス波形の特徴に関する基礎的研究, 海洋音響学会 2009 年度研究発表会講演論文集, 09-24.
- 8) 加田春樹他, 2009 年 10 月の東京湾および 11 月の内浦湾における生物突発性雑音観測結果の一例, 海洋音響学会 2010 年度研究発表会講演論文集, 10-06.