

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24657015

研究課題名(和文) コミュニケーションのためのイルカ用広帯域スピーカーの開発とプレイバック実験

研究課題名(英文) Development of the broadband speaker and playback experiments for dolphin communication

研究代表者

宮本 佳則 (MIYAMOTO, Yoshinori)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：80251685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：これまで、イルカの発する超音波を録音して、イルカの行動との関係を研究した例はあるが、イルカに対して人間の側からイルカの発する音と同じような音を聞かせてイルカの行動を観察した例は少ない。本研究では、広帯域の超音波を送信することに成功し、この技術を応用してイルカスピーカーを開発した。また飼育下においてシロイルカは超音波をコンタクトに用いていること、発信間隔に個体情報を付加している可能性が高いことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：So far, record the ultrasonic waves emitted by the dolphin, examples studied the relationship between the behavior of the dolphins there. Example from the side of the human to dolphin let a similar sound to the sound emitted by the dolphin to observe the behavior of dolphins is limited. In this study, we succeeded in transmitting broadband ultrasound, we have developed a dolphin speaker by applying the technique. Also in captivity Beluga revealed that it is likely to be added to individual information to the calling interval is used ultrasound to the contact.

研究分野：水産音響学

キーワード：行動生態 鳴音 コミュニケーション 超音波

1. 研究開始当初の背景

イルカが人間の耳には聞こえない超音波を出していることはよく知られている。イルカの発する音域は数十 Hz から 150kHz くらいまでの 10 オクターブ以上もあると言われており、人間のそれはせいぜい 3 オクターブである。広い音域を持つイルカたちは、その音域を有効に活用した会話を行っていると考えられ、人間が普段は 1 オクターブ以内のフラットな音域で会話しているわけであるから、彼らが行っている会話を研究することにより、海の中の情報伝達方法などの分野でもヒントが得られると考えている。海の中のほ乳類の中で最も賢い生物と言われるイルカと会話することによって、彼らが海に回帰してからどのように進化してきたか、海の中で生きるということはどういうことかなど、もしイルカと会話できたら、我々が知り得ない海の中の情報や生き方を教えてもらえることができるであろう。

これまで、イルカの発する超音波を録音して、イルカの行動との関係を研究した例はあるが、イルカに対して人間の側からイルカの発する音と同じような音を聞かせてイルカの行動を観察した例は少ない。その理由は、これまでイルカが発する広帯域の超音波を出せるスピーカーがなかったからである。

研究代表者らは、新たに積層電歪素子を用いて、広帯域の超音波を送信することに成功(宮本他、2011)しており、この技術を応用してイルカスピーカーを開発している。

イルカには、ホイッスル、バーストパルスおよびエコロケーションクリックスと呼ばれる 3 種類の鳴音があるが、その内、会話で利用されていると言われているのは、ホイッスルとバーストパルス(Herzing 1996、Van Parijjs et al. 2001、Lammers et al. 2003、Blomqvist et al. 2004、Lammers 2006、Rankin et al. 2007、Adams et al. 2010、Vergara et al. 2010)である。イルカと会話したいと考えた人はこれまでもいた。しかし、会話するための道具(イルカスピーカー)がなかったため、これまでは会話は成功していない。そのため、イルカの鳴音を収録して、行動との関連づけなどで、イルカの生体を解明しようとしている。このため、水族館でイルカのショーなどは、一見、イルカと人間がコミュニケーションを図っているように見えるが、実は人間側からの一方通行の指示である。また、イルカに対して 20kHz 以下(人間が聞こえる周波数:可聴域 20Hz~20kHz)のホイッスル音を再生した例はいくつかあるが(Sigh et al. 1998、Janik et al. 2006、Nakahara et al. 2011)、ホイッスル音を忠実に再生しているわけではない。本研究は、人類が人類以外の生物と会話するという、人類史上初めての試みが画期的であると考えている。研究代表者らが開発しているイルカの発する音域をカバーしたイルカスピーカーそのものも独創的であるが、それを用いて会

話をして、子供たちに夢を与え、またイルカの海の中の生活を聞けるようになるなど、人類の歴史が変わるかも知れない点が独創的であると考えられる。イルカと会話できたら、水族館でイルカのショーを一方的に見せられるのではなく、子供たちがイルカと一緒に会話しながら遊べるようなこともできる。将来はイルカ語翻訳機を作り、リアルタイムでイルカと子供たちが話せるようになるかも知れない。子供たちに夢を与える研究をしたいというのも一つの動機である。

2. 研究の目的

当研究には二つの目的がある。

(1) イルカコミュニケーション用広帯域スピーカー(イルカスピーカー)の開発

広帯域の収録システムを用いてイルカ音の収集を行い、彼らの行動と収集した音の関係を分析・解析し、いくつかのパターンを見つける。そして、開発中であるイルカスピーカーで、どこまで忠実に収集したイルカの鳴音(以下、原音と称す)を開発したイルカスピーカーから出し(以下、再生音と称す)その音を収録する。原音の周波数特性とイルカスピーカーからの再生音の周波数特性や電圧波形を比較し、可能な限り再生音を原音に近づける。

(2) プレイバック実験によるコミュニケーションの評価

最初にイルカに聞かせる音を何にするかを十分検討し、第一声をイルカに向かって発する実験を行い、コミュニケーションの基礎を築く。

3. 研究の方法

イルカ鳴音はこれまでも多数収録されているが、より広帯域の音を収録するとともに、行動との因果関係を明確にする。そして、製作しているイルカスピーカーから収録音を再生し、その再現性の向上を図る。そして、イルカに対して収録した音を再生する。ここでは、どの鳴音が良いのか?などの判断に野生のイルカを利用する。そして、その反応から飼育下のイルカに応用する。

具体的には、次の 2 項目の研究を進めて行く。

(1) イルカコミュニケーション用広帯域スピーカー(イルカスピーカー)の開発

収集したイルカの鳴音を開発したイルカスピーカーから出し(以下、再生音と称す)その音を収録する。イルカの鳴音の周波数特性とイルカスピーカーからの再生音の周波数特性、電圧波形を比較する。比較結果をもとにイルカスピーカーを改善していき、可能な限り再生音を原音に近づける。システム雑音(アンプの電氣的なノイズ)などの影響もあり、原音と全く同じ音を再生することは不可能である。そこで、この時点で誤差範囲を

決め、イコライザを使用して音色を加工（イコライジング）して、再生音のクオリティの向上を図る。

（2）プレイバック実験によるコミュニケーションの評価

イルカ鳴音の収集

これまで、イルカの鳴音は様々な方法で収録され、解析されている。特に、ホイッスルと呼ばれる鳴音は、収録とプレイバック実験も実施（Saigh et al. 1998, Janik et al. 2006, Nahahara et al. 2011）されている。しかしながらホイッスルは、可聴域の音だけでなく、倍音（ハーモニクス）を含んだ音であることが明らかとなり、これまで可聴域の音でプレイバックしていた実験の有効性に疑問を生じている。また、バーストパルスと呼ばれる鳴音は、詳細な分類がイルカの種類などより困難なため先行研究が少ない（Rankin et al. 2007, Lammers et al. 2003）。加えて、このバーストパルスは、可聴域から超音波域までの広帯域の信号を含んでいるためプレイバック実験は行われていない。イルカの音を広帯域で収録している研究もまだ少ないが、我々は広帯域ハイドロフォン、録音システムを用いてイルカの出している鳴音を低周波数から高周波数まで全て収録する。また、同時にビデオカメラで行動を記録して、鳴音と行動との関連を明確にする。

プレイバック実験によるコミュニケーションの評価

イルカに対して収録した音を再生する。イルカに対して 20kHz 以下のホイッスル音を再生した例はいくつかあるが、バーストパルスを手間側から再生するのは初めてのことである。イルカがどのような反応をするのかは未知の世界であるため、いきなり飼育下で実験するのは難しい。そこでまずは野生のイルカで再生実験を行う。収録した音の中からイルカが遊んでいるときの音など、イルカに興奮やストレスを与えないような音を選択し、イルカスピーカーから再生する。再生と同時に、音の収録、ビデオ撮影も行い、イルカの反応を分析する。

4. 研究成果

（1）イルカコミュニケーション用広帯域スピーカー（イルカスピーカー）の開発

イルカスピーカーの再生音の向上は、5kHz から 150kHz までのチャープ音を用いてスピーカーの周波数特性を計測し、高音部と低音部において周波数特性が円滑になるように工夫するとともに、指向特性を改善した。具体的には、高音部では素子の配列の見直しを行い、サイドロープの低減を図った。低音部では、積層電歪素子を変更し共振周波数の低い素子とした。さらに、特異的なピークを持つ周波数については、電気的な信号処理（ダンピング抵抗やノッチフィルター）を行うこ

とで、プラスマイナス 6dB の範囲で、5kHz から 150kHz で再生が行えるイルカスピーカーを試作した。ただし、20kHz 以下の再生音は十分に平坦な周波数特性とは言えず、別のスピーカーを用いる必要性が検討されている。また、プラスマイナス 6dB の周波数特性をハード的に改善することは限界であり、製作したイルカスピーカーの周波数特性を基に、原音をデジタル的にイコライジングすることでより原音に近い再生が可能であることを明確にした。

（2）プレイバック実験によるコミュニケーションの評価

イルカ鳴音の収集

動物が群れを維持するために鳴き交わす音をコンタクトコールという。ハンドウイルカはシグネチャーホイッスルと呼ばれるコンタクトコールに個体情報を含ませており、「名前」のような機能を持たせている。イルカとヒトは系統的起源も生息環境も全く異なるが、同じような機能を進化させたということである。イルカのコンタクトコールの進化過程を探ることは、ヒトの音声個体認知が現在の形へと進化した要因の解明に繋がるものである。進化過程を探るためには種間で比較する必要があるが、イルカのコンタクトコール研究はハンドウイルカに偏っており、他種に関する知見が極めて少ない。そこで本研究ではシロイルカとカマイルカについて調べる。

平成 25 年度は名古屋港水族館のシロイルカ 5 頭を調べた。隔離状態においてシロイルカがある種のバーストパルス(PS1 call)を頻繁に出すこと、PS1 の様々な音響パラメータに個体差があることを明らかにした。特に各パルスの時間間隔の変化(IPI コンター)は、1 歳の個体を除くと個体特有で比較的定型であった。(図 1)

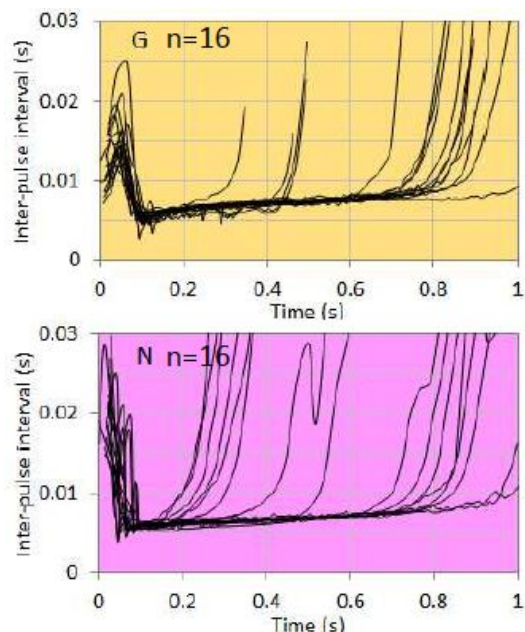


図 1 IPI の例

平成 26 年度は 9 月～3 月に、しまね海洋館アクアスのシロイルカ 7 頭を調べ、PS1 の特性が飼育個体に共通するものなのかを調べた。隔離状態ではなかったものの、PS1 の頻度は最も高く、個体差も認められ、IPI コンターも各個体定型であった。また 0 歳の個体は PS1 を出さなかった。これらの結果から、飼育下においてシロイルカは PS1 をコンタクトに用いていること、IPI コンターに個体情報を付加している可能性が高いこと、PS1 の獲得には音声発達に関係していることが明らかとなった。

1 年を通して海遊館でカマイルカ 4 頭の鳴音収録も行った。雌の 2 頭は数個のバーストパルスから構成されるパルスパターンを頻繁に鳴き交わしており、孤立時にはそのパルスパターンが多く発せられた。このことから、カマイルカはパルスパターンをコンタクトに用いている可能性が高いことが分かった。

また、野外での野生イルカの鳴音収録の方法を確立する為に網走沖で行われたシャチの調査に参加して、鳴音収録を実施した。

プレイバック実験によるコミュニケーションの評価

この研究に関しては、先の(1)イルカコミュニケーション用広帯域スピーカー(イルカスピーカー)の開発と、(2)プレイバック実験によるコミュニケーションの評価 イルカ鳴音の収集による成果を受けて実施する予定であった。しかしながら、イルカ鳴音の収集で収録したデータの解析に時間がかかり、プレイバックに適切な鳴音を判定するまでに至らなかった為、この実験を行うことが実施期間中に行うことができなかった。

この実験については、本事業の終了後に実施めどが立ったので行う予定としている。

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)

[雑誌論文](計 2 件)

- (1) 三島由夏、宮本佳則、笹倉豊喜、イルカスピーカーの開発、海洋音響学会誌、査読有、40(1)、2013、27-36
- (2) Yuka Mishima、Yoshinori Miyamoto and Toyoki Sasakura、4-Octave Transducer、Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics、査読無、33、2012、123-124

[学会発表](計 10 件)

- (1) Yuka Mishima、Tadamichi Morisaka、Miho Itoh、Aiko Sakaguchi and Yoshinori Miyamoto、Individuality in the contact calls of captive beluga whales (*Delphinapterus leucas*)、The 1st Annual meeting of The Society for

Bioacoustics、大津、2014 年 12 月 13 日～14 日

- (2) Yuka Mishima、Tadamichi Morisaka、Tomoko Mori、Miho Itoh、Sayo Nishimoto、Ryono、Masanori Kurita、Makoto Soichi、Ryota Suzuki、Kenji Okutsu、Nobuyuki Furukawa、Aiko Sakaguchi、Yoshinori Miyamoto、Inter-individual difference of one type of pulsed sounds produced by beluga whales (*Delphinapterus leucas*)、168th Meetings of the Acoustical Society of America、Indianapolis USA、2014 年 10 月 27 日
- (3) 三島由夏、宮本佳則、笹倉豊喜、広帯域スピーカーの応用、第 24 回海洋工学シンポジウム、東京、2014 年 03 月 13 日～14 日
- (4) 笹倉豊喜、三島由夏、甘糟和男、宮本佳則、広帯域スピーカーの開発、第 24 回海洋工学シンポジウム、東京、2014 年 03 月 13 日～14 日
- (5) Yuka Mishima、Tadamichi Morisaka、Yoshinori Miyamoto、Aiko Sakaguchi、Tomoko Mori、Miho Ito、Sayo Nishimoto and Makoto Soichi、Individual differences in burst pulses produced by white whales、International Symposium "Dolphin acoustics、behavior and cognition"、清水、2014 年 02 月 02 日
- (6) Yuka Mishima、Yoshinori Miyamoto and Toyoki Sasakura、Development of a broadband speaker for playback experiments of dolphins、International Symposium "Dolphin acoustics、behavior and cognition"、清水、2014 年 02 月 02 日
- (7) Mishima Yuka、Miyamoto Yoshinori、Sasakura Toyoki、Development of the broadband speaker for playback experiments of dolphins、20th Biennial Conference、Society of Marine Mammalogy、Dunedin New Zealand、2013 年 12 月 09 日～13 日
- (8) Yuka Mishima、Yoshinori Miyamoto and Toyoki Sasakura、Improvement of the dolphin speaker、The 6th Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society、釜山、2012 年 11 月 26 日～27 日
- (9) Yuka Mishima、Yoshinori Miyamoto and Toyoki Sasakura、4-Octave Transducer、Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronic、千葉、2012 年 11 月 13 日～15 日
- (10) Yuka Mishima、Keiichi Uchida、Kazuo Amakasu、Yoshinori Miyamoto and Toyoki Sasakura、Evaluation of playback sounds by a newly developed

Dolphin-speaker、Acoustics、香港、2012
年05月13日～18日

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮本 佳則 (MIYAMOTO Yoshinori)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：80251685

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：