

鳴音データの解析によるヨウスコウカワイルカの 潜水行動およびバイオソナー特性の推定

Estimation of Dive Behavior and Bio-sonar Characteristics of Free-ranging Baiji (*Lipotes vexillifer*) Based on Acoustic Data

浦 環*・パール ラジェンダール**・矢 野 正 人*・
赤 松 友 成***・王 丁****・王 克 雄****

Tamaki URA, Rajendar BAHL, Masato YANO, Tomonari AKAMATSU, Ding WANG and Kexiong WANG

1. は じ め に

バイジーの名で呼ばれることの多いヨウスコウカワイルカ (*Lipotes vexillifer*) は揚子江の中・下流域に生息する小型鯨類であり, 他のハクジラ類同様, パルス状の音波 (クリック音) を利用した反響定位 (エコーロケーション) 能力を持つ。近年, 水質の悪化や混獲等により生息数が急激に減少しており, 世界で最も絶滅の危機される水棲哺乳類の一種となっている。最新の統計によるとその生息数は100頭にも満たないとされ¹⁾, 種を絶滅から救うためには具体的方策を早急に講じる必要がある。有効な方策を考える上で, バイジーの潜水行動に関する知見は重要であり, 本研究では, 自由遊泳中のバイジーの発するクリック音を解析し, 自然状態での水中行動およびバイオソナー使用特性の解析を試みた。



図1 バイジー

2. 録音の概要と解析方法

2.1 録音の概要

本研究で使用した録音データは揚子江の三日月湖 (準自然保護区) に放された雌の成熟個体1頭のものであり, 1996年1月に, 水産工学研究所の赤松らが中国科学院水生生物研究所と共同で録音したものである²⁾。湖は長さ21 km, 最大幅2 km, 最大水深20 mという大きさを持ち, この中でのバイジーの行動は水槽中とは異なり自然な行動と見なせる。

観測者は木製のボートに乗って湖面上を搜索し, バイジーを発見したらエンジンを停止して録音を行なった。録音には水深2 mまで下ろした1本のハイドロフォン (B&K 8103) を使用し, 1 kHzのハイパスフィルターを介した後データレコーダ (SONY PCHB 244, サンプル周波数384 kHz) にて記録した。バイジーがボートから一定以上 (300 m程度) 遠ざかると録音を中断し, 再びバイジーへ接近して録音を繰り返した。2日間の録音で最も長い時間連続で録音のできた約23分間のデータを今回の解析の対象とした。

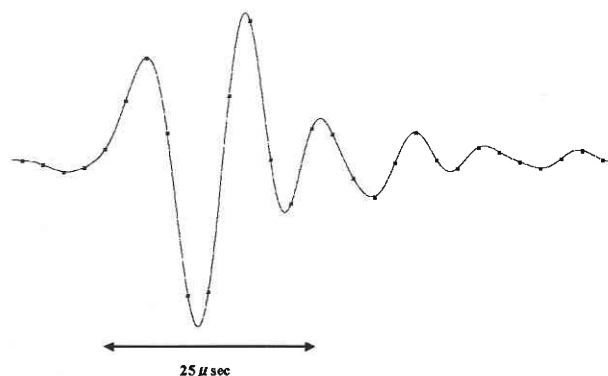


図2 バイジーのクリック音の波形

*東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター

**インド工科大学

***独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所

****中国科学院水生生物研究所

研 究 速 報

2.2 解析方法

解析では主に、1) 直達クリック音と水面反射音の到達時間差 (TDE: Time Delay), 2) クリック音の発声時間間隔 (ICI: Inter-click Interval), 3) 直達クリック音のエネルギー, 4) 直達クリック音の周波数, の4項目に着目し、当該個体の潜水行動を推定すると同時に、ソナー音の使用特性に関する考察を行った。

2.2.1 クリック間隔, エネルギー, 周波数

バイジークリック音 (図2) は $25 \mu\text{sec}$ 程度の短いパルス状の音波であり、周波数は $50 \text{ kHz} \sim 80 \text{ kHz}$ である。通常、多数のクリック音が連続的に現れるクリックトレインとして観測される (図3)。録音データからのクリック音の検出方法は、時間領域で標準的なクリック音 (図2) との波形の相互相関をとるパターンマッチングである。クリック音が検出されると、受信した時刻、前回の受信時刻からの経過時間 (ICI), エネルギー、周波数のそれぞれを記録した。エネルギーについては、クリック音の最大振幅を中心とする $25 \mu\text{sec}$ の時間窓で計算した。また周波数は、各周波数成分に成分毎のパワーで重み付けをした加重平均として算出した。

2.2.2 反射波の到達時間差

浅深度水域における水中録音では、直接音に遅れて水面

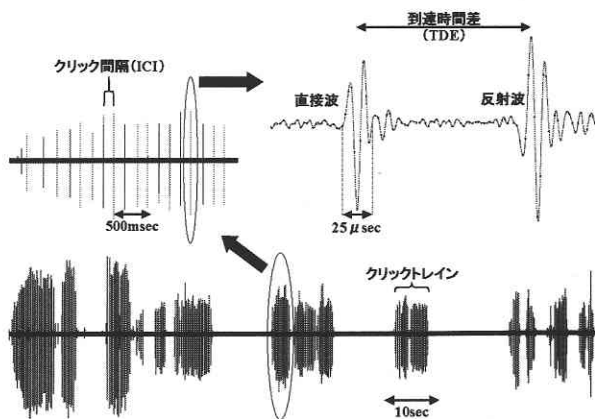


図3 クリック音の現れ方

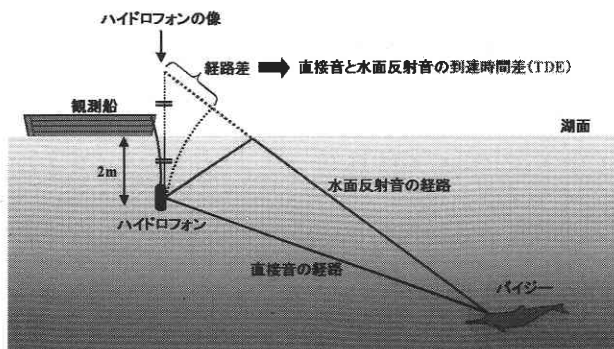


図4 水面反射音を利用した擬似的なSBL

や水底からの反射音が受信される場合がある。複数のハイドロフォンを用いる代わりに、このような反射音を利用して音源の位置を正確に求める理論的な方法は提案されているが³⁾、実観測への適用は極めて困難である。今回の録音では、湖面の静肅性により極めて明瞭な水面反射音が録音されていた。水面反射音は直接音に対し位相が180度反転していることから、直接音とは容易に識別できる (図3)。水面反射音を利用することで、単一ハイドロフォンにより録音されたクリック音のデータから、垂直に配置した2つのハイドロフォンによる録音と同じ結果が得られる。今回の解析では、直接音の検出と同時にこの水面反射音も検出し、直接音からの到達時間差 (TDE) を記録した。

3. 結果と考察

連続した約23分間の録音データからは1095個のクリック音が検出され、それぞれのクリック音に関して上述の各パラメータ抽出を行った。

3.1 潜水パターン

直接音と水面反射音の到達時間差 (TDE) は図5aに示すような変化をしていた。通常、TDEの大きさを決定する要素としては音源からハイドロフォンまでの水平距離および音源の深度の両者が考えられる (鉛直平面での擬似的なSBL, 図4参照)。一方で、水上での目視観測の情報から、録音中の23分間を通じてバイジーはボートから水平距離で150~300mの範囲に留まっていたことが分かっている。この場合、TDEを左右する要素としては音源 (バイジー) の深度の変化が水平距離の変化に比べて30倍程度強く作用する。したがって、TDEの変化はバイジーの深度変化をほぼ直接的に示していると考えてよく、図5aに見られるTDEの増加はバイジーの深度の増加、すなわち潜降を表すと考えられる。同様に、TDEの減少はバイジーの浮上を表しており、図5aからは潜降・浮上を繰り返すバイジーの水中行動を読み取ることができる。この

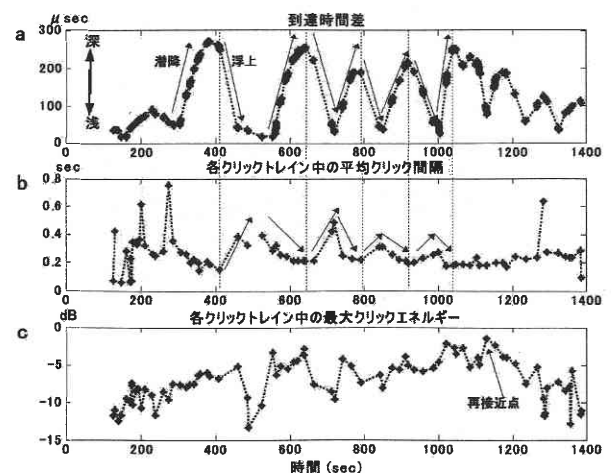


図5 TDE, ICI, エネルギーの変化

TDEの変化からは、バイジの潜水周期が100～300秒(平均160秒)程度であることが分かり、この情報は船上からの目視観測の情報(バイジの呼吸時刻の記録)ともよく一致する。また、録音開始400秒付近に見られるTDEの最大値(271.5 μsec)からは、水平距離150mの仮定の元で深度15.3mが計算される。湖の水深が最深部でも20mしかないことから、多くの場合バイジは水底付近まで潜降していたと推定される。

3.2 ICIと深度の関係

クリック音の発声間隔(ICI)は図5bに示すような変化をしていた。図5bにはクリックトレイン毎に計算した平均ICIをプロットしている。なお、ここではクリックトレインを「0.5秒以上の間隔を空けずに受信される一連のクリック音」と定義している(以下クリックトレイン毎に適用される計算では同様の定義に従う)。図5a, bから、深度(TDE)の増加とともにICIが減少し、深度の減少とともにICIが増加する、すなわちICIが深度変化と負の相関関係を持つことがわかる。このことは、バイジは潜降していく過程で徐々にクリック音を発する頻度を上げるようになることを意味している。一般的にICIはターゲット(例えば餌となる魚)との距離に比例することが知られている⁴⁾。そのため、バイジが潜降中にICIを減ずる理由として、1) バイジが湖底を常に意識して潜降している、あるいは2) 湖底付近に多く存在する生物を捕食対象としている、等が考えられる。

3.3 絶対距離の変化

TDEの変化がバイジの鉛直方向の移動を表すのに対し、受信されるクリック音のエネルギーの変化(図5c)はバイジとハイドロフォンの絶対距離の変化を表す。このエネルギーは微視的にはビームパターンによる影響で変動するため、図5cにはクリックトレイン毎の最大のエネルギーを取り出してプロットしている。最大エネルギーは、バイジがハイドロフォンに正対する状態で現れる。このエネルギーの変化から、録音開始後バイジが徐々にボートに接近し、録音開始約19分後に最接近し、その後再び遠ざかって行ったことが読み取れる。

3.4 首振り(Nodding)運動

TDEの変化をクリックトレイン毎に詳細に観察すると、その変化は滑らかではなく、微小な変動が見られる。また対応するクリック音のエネルギーも微小な変動をしていることから、このような変動はバイジの微視的な運動と発信ビームパターンに起因するものであると推定される。図6に示した例では、 $\pm 1 \mu\text{sec}$ 程度のTDEの規則的な増減が見られ、水平距離150mの仮定の元ではこのTDEの増減は $\pm 7 \text{cm}$ の深度変化に対応する。この微小な深度の増減はバイジの頭部に存在する音源部位の上下動(首振り運動)の存在を示すものと考えられる(図7)。

3.5 水平ビーム幅

クリック音が連続的に観測されている間はバイジを音響的に捕捉することができる。一方、クリック音が受信されない時にはバイジを音響的に捕捉することはできない。音響的な観測において、自由遊泳中のバイジをどの程度の割合で受動的に捕捉できるかは、バイジの発信ビームパターン、特に水平方向のビームパターンに大きく依存すると考えられる。バイジの遊泳方向に偏りが無いと仮定すると、バイジが捕捉される時間的割合はバイジの水平方向のビーム幅に比例すると考えられる。最初のクリック音が観測されてから最後のクリック音が観測されるまでの1260秒間のクリックトレインの継続時間合計は236.8秒間であり時間的に18.8%の割合でバイジが捕捉できていたことになる。このことから、バイジの水平方向のビーム幅は67度であると計算される。

3.6 運動強度の推定

受信されるクリック音の周波数はバイジのハイドロフォンに対する相対的な向きによって変化するものであり、この変化の大きさはバイジの運動(水平方向、鉛直方向、および両者の組み合わせた運動)の激しさ(運動強度)を表すと考えられる。図8はクリック音の周波数の分散を

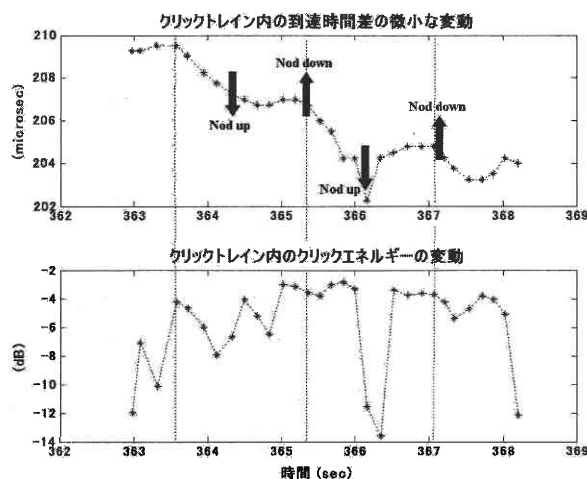


図6 TDEとエネルギーの微小変化

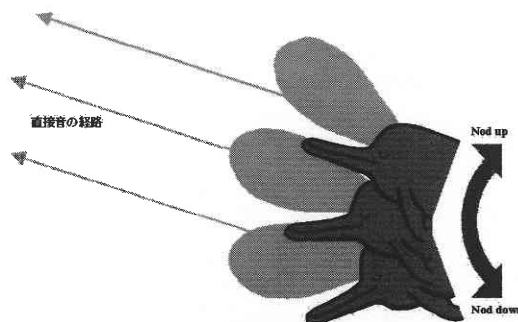


図7 首振り(Nodding)運動

研 究 速 報

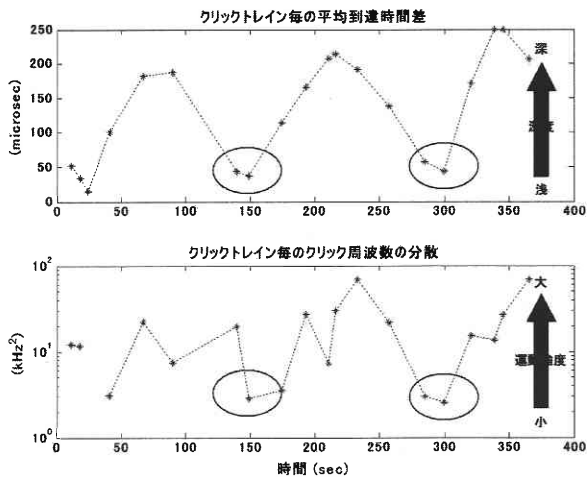


図8 周波数の変動の大きさと水深

クリックトレイン毎にプロットしたものであり、対応するクリックトレインの平均 TDE (深度) と比較すると、水面付近で運動強度が最も小さくなることがわかる。

4. お わ り に

今回の録音データの解析では、録音時の水上での観察記録と一致する結果 (バイジの平均潜水時間等) を得たのみならず、目視観測では知りえない水中でのバイジの行動に関して新たな知見を得ることができた。すなわち潜降を始めたバイジは 1) クリック音の発声頻度を徐々に上

げながら、2) 首振り運動を含めた運動強度を強めつつ、3) 底面近くまで潜降し、再び浮上するというサイクルを繰り返す。この水中行動からは、バイジのエコーロケーションを用いた食餌戦略とも呼ぶべきものが推察される。

本研究で録音対象とした雌のバイジは観測が行われたのと同じ 1996 年に死亡している。また、世界で唯一の飼育例であった雄のバイジ「チャーチャー」(中国科学院水生生物研究所) も 2002 年 7 月に死亡した。飼育例も無く、また揚子江本流での発見も困難と言われる現在、バイジに関する新規のデータ収集は困難を極める。したがって、本研究で得られた情報は、バイジに関する基本的な理解を深めるために重要であると同時に、今後の調査・保護活動にも有用であると考えられる。

(2004 年 9 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) IUCN 2003, 2003 IUCN Red List of Threatened Species, <<http://www.redlist.org>>, downloaded on 10 February 2004.
- 2) T. Akamatsu, D. Wang, K. Nakamura, and K. Wang, "Echolocation range of captive and free-ranging baiji (*Lipotes vexillifer*), finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*), and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*)," J. Acoust. Soc. Am. 104, 2511-2516 (1998).
- 3) R. Aubauer, M.O. Lammers, and W.W.L. Au, "One-hydrophone method of estimating distance and depth of phonating dolphins in shallow water," J. Acoust. Soc. Am. 107, 2744-2749 (2000).
- 4) W.W.L. Au, *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York, 1993).