

ハンドウイルカホイッスル音の波形分類の試み

姫井 信二*, 黒田 英夫*, 竹村 暘, 小井土 隆

On the classification of whistles of bottle-nosed dolphins

Shinji HIMEI*, Hideo KURODA*, Akira TAKEMURA, and
Takashi KOIDO

Click sounds of dolphins have been made clear in their characteristics and functions but those of whistle sounds are not clear yet. Each whistle has an identical contour and seems to play an important role on their social behavior. According to the contour displayed in sonagrams, whistles were objectively classified by digital analysis. With one exception, 50 whistles were grouped into six classes in the same accuracy as human's eye. This failure was caused by sampling from overlapped signals.

Key Words: ホイッスル音 Whistle, 識別 Discrimination, ハンドウイルカ bottle-nosed dolphin, コンピュータ Computer

イルカの鳴音の解析が進められるようになって久しい。イルカ鳴音の内、クリック音の解析はかなり進み、その特性や機能の詳細が明らかにされてきた。¹⁾

一方、ホイッスル音の解析も行われてはいるが遅々として進んでいない。ホイッスル音はイルカ類の意思の伝達に用いられていると言われる音であり、多くの内容を含んでいると考えられている。そこで、ホイッスルの音響的な特徴の解明に興味を持たれてきた。²⁾⁻⁵⁾しかし、この音はソナグラム上に示すと一本又は数本の平行した単純な曲線(コンター)として表される。ホイッスル音解析の一つの方法として、それらのコンターの特性を明らかにし、それらの形態を比較することが重要視されてきた。⁶⁾⁻⁷⁾しかし、正確に個々のホイッスル音を比較すると同一の音は存在しなくなってしまう。また、ハンドウイルカなどにおいて同一のコンター及び意味を持つと言われ、同一の個体が発するシグネチャーホイッスルでも、一つ一つの音は全く同じというわけではなく、ある程度の違いが存在する。

これまで、このようなコンターの比較は人の眼による主観的な判断で行われてきた。また、計算機を用いたシグネチャーホイッスルの分類の試みもなされている⁸⁾が、一般的な手法として確立されてはいない。そこで、客観的な評価基準を設定し画像処理によるイルカの鳴音の分類処理を行うことで、作業時間の大幅な短縮と大量処理に伴う疲労による過ちの防止等作業の効率化を図ることを目的とした。本研究では、その第一段階としてコンターを6つに大別する作業の機械化について検討した。

資料と方法

テープに記録されたハンドウイルカの鳴音を波形分析装置(KAY CSL MODEL 4300B)を通してソナグラムを作成した。これらの波形をイメージスキャナー(EPSON GT-9000)でデジタル信号に変換し、画像データとしてコンピュータ(CPU:Pentium II, MMX 300MHz, Memory:64Mbyte, OS:UNIX)に取り込み、解析の要に供した。Fig. 1に入力したイルカ鳴音のソナグラムを示した。濃く現れた線が鳴音の波形であり、線の濃淡は鳴音の強さを示す。解像度は横615×縦96画素の256階調の濃淡画像であり、横軸に時間(S)を1画素3.4msで、縦軸に周波数(Hz)を1画素217Hzで表している。

この原画像に、二値化・雑音除去・細線化の前処理を施した後、64×64画素の画像として切り出した。

イルカ類の波形は大まかに抑揚のない型と波型、谷型、山型、尻上がり型、尻下がり型の6つの型に分けられているので、Fig. 2に示した波形の分類処理の流れに従って各画像を分類した。

まず二値化・雑音除去・細線化の後、抑揚のない波形、即ち時間の経過による周波数の変化がほとんど無い波形を抽出した。次に、残りの各波形を正規化し、尻上がり又は尻下がり、山型又は谷型、及び波型の三つに大きく分類した。その後、波型の波形を除いた各波形に対してテンプレートマッチングを行い、尻上がりと尻下がり及び、山形と谷型の各波形を分類した。

* 長崎大学工学部

** この研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究B(課題番号09460089)によった。

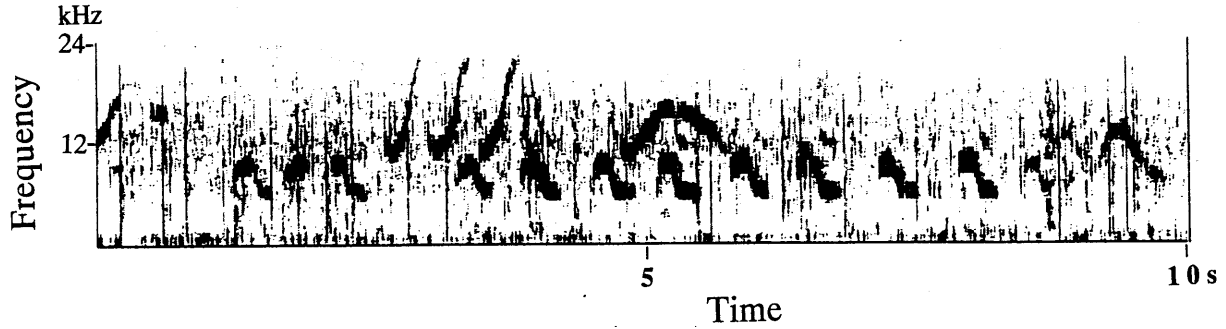


Fig. 1 Samples of original graphic data of whistles

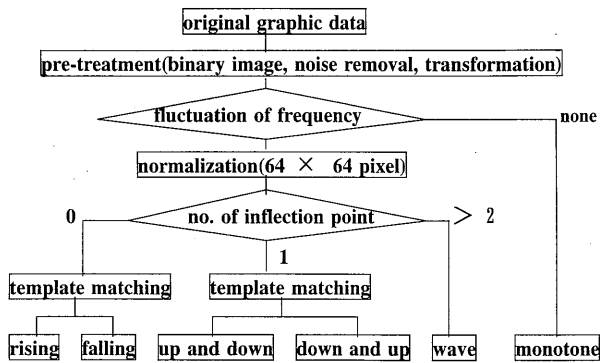


Fig. 2 Flow chart of classification

-31, . . . , -1, 0	0, 1, . . . , 31
-31, . . . , -1, 0	0, 1, . . . , 31
-31, . . . , -1, 0	0, 1, . . . , 31
31, . . . , 1, 0	0, -1, . . . , -31
31, . . . , 1, 0	0, -1, . . . , -31
31, . . . , 1, 0	0, -1, . . . , -31

-31	31	31	-31
.	.	.	.
.	.	.	.
-1	1	1	-1
0	0	0	0
0	0	0	0
1	-1	-1	1
.	.	.	.
.	.	.	.
31	-31	-31	31

Fig. 3 Weighting template
 upper: for rising (+) and falling (-) type
 lower: for up/down (+) and down/up (-) type

実際には、抑揚のない波形ではその最大周波数と最小周波数の差を求め、その差が人の目で見ても平坦と見える440Hzを今回はしきい値とし、その差がこれ以下の波形を先ず抽出した。ついで、残りの波形に各々波形が64×64画素の枠一杯に収まるように正規化を施した。その後、波形の傾きが正から負へ、又は負から正へ変化する極値の数により三つに大別した。即ち、極値がないときには尻上がり又は尻下がり、1個の時には山型又は谷型、2個以上の時には波型である。ここで、まず波型の波形を抽出した。次に、残りの波形を分類するためそれぞれに重みテンプレートを用意した。画像データとして64×64画素の画像を用いているので、重み値は-31~+31の63個の値をFig. 3のように設定した。重み配置は尻上がり・尻下がり用には縦の中心線から外側に向かって正負とも大きい値に設定し、山型又は谷型には横の中心線から外側に向かって正負とも大きな値を設定した。テンプレートマッチングでは、まず入力画像とテンプレートを重ね合わせ、入力画像の黒画素の部分に対応しているテンプレートの重みの値の総和Sを求めた。極値がない場合、Sが正なら尻上がり、負なら尻下がり。極値が1つの場合、Sが正なら山型、負なら谷型である。

結 果

原画像を前処理した結果、50の画像を作成することが出来た。その一部をFig. 4に示した。それらの画像を正規化した後、分類処理した結果をTable 1に示した。この表から明らかのように、全体の認識正答率は98%であり、人の目による分類とほとんど変わらない結果を得た。

人の目と計算機によるそれぞれの分類が一致しなかった波形はFig. 5 aに示した1個であった。また、今回分類不可であった波形もFig. 5 bに示した。これら波形は複数の波形が接触したために認識できなかった場合と、1つの波形が前処理の段階でとぎれた場合に認識できなかった場合とであった。また、50個の鳴音波形に対する前処理を含む波形分類処理に要した時間をTable 2に示した。処理時間の合計は43秒であり、人の目による分類と変わらない処理速度であった。処理時間の内訳を見ると、正規化の所要時間が23秒と合計処理時間の半分以上を占めてた。その他の処理に関しては、抑揚のない波型の分類に3秒、波型の波形の分類及びテンプレートマッチングにはそれぞれ1秒と非常に短い時間で処理できた。

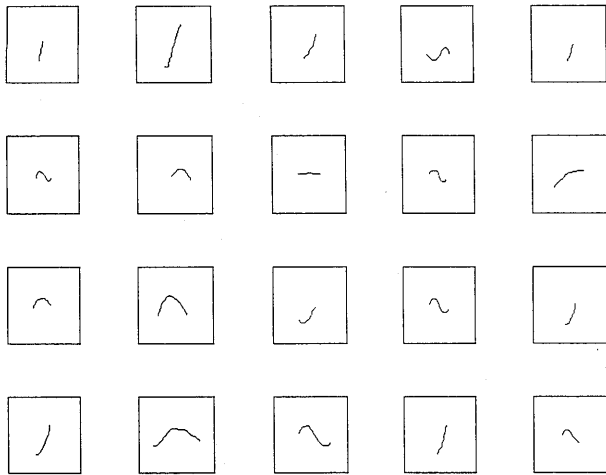


Fig. 4 Example of pre-treated data

Table 1. Results of Experiment

Contour	Classification	
	human sense	proposed method
Rising	11	10
Falling	4	4
Up and down	12	12
Down and up	2	2
Wave	10	10
Monotone	6	6
Unclassifiable	5	6

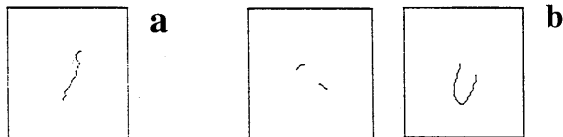


Fig. 5 Whistles failed in classification
 a: datum deformed in process of pre-treatment
 b: unclassifiable data

Table 2. Time required

Treatment	Time required(s)
Pre-treatment	16
Monotonous pattern extracted	3
Normalization	23
Other pattern extracted (template matching)	1
Total	43

CPU : Pentium II 300MHz
 Memory : 64MByte

考 察

今回の実験では、イルカ類の発するホイッスル音分類の自動化の第一歩として、画像処理による波形の分類を試みた。ホイッスルに対してこのような分類処理を行った例は少ない。⁸⁾ 波形処理には時間的にまだ人の目による処理には追いつかないが、普遍的な判断基準で長時間大量のデータの処理が可能な点はすでに人力処理を上回っていた。また、今回の処理では正規化に多くの時間が費やされた。しかし、今後は音の高低をも含めた分類が必要であり、そのためには正規化に代わる一定の枠による処理の開発が望まれる。このことにより、処理速度は更に速くなるものと考えられる。

認識に失敗した波形は接触していた波形が前処理の段階で波形の特徴が変化し、あたかも一つの波形のようになってしまったためと考えられた。重なり合ったり、交差した個々の波形の弁別方法の改善が進めばこのような失敗は見られなくなると考えられる。また、原画像の雑音が大きすぎたために雑音の除去がうまくいかなかった例がいくつかあった。それらのホイッスル音では適切な波形の切り出しが出来ず雑音除去の過程で特徴が失われていた。

今回は波形を大きく6つに分けたが、実際には同じ波型の波形をより詳細に弁別する必要がある。

参考文献

- 1) Au, Whitlow W.L., Sonar of Dolphins, Springer-Verlag, New York, p.277, (1993)
- 2) 竹村 陽：イルカ鳴音の分析, 昭和54・55年度漁業公害(有害生物等)対策事業調査報告書, 水産庁, 67-86, (1981)
- 3) 竹村 陽：海獣類の音響生態, 「海の哺乳類」, サイエンス社, 東京, 36-50, (1990)
- 4) Caldwell, M.C. and Caldwell, D.K., Vocalization of Naive Captive Dolphins in small Groups, Science, 159, 1121-1123, (1968)
- 5) Lang, T.G. and Smith, H.A.P., Communication between Dolphins in Separate Tanks by way of an electronic Acoustic Link, Science, 150, 1839-1844 (1965)
- 6) Dreher, J.J. and Evans, W.E., Cetacean Communication, in Marine Bio-Acoustics, Pergamon Press, New York, 373-393 (1964)
- 7) 山室太平, 武井正樹, 竹村 陽：ホイッスルの役割と使用頻度, 「イルカ類の感覚と行動」, 恒星社厚生閣, 44-54, (1996)
- 8) Buck, John R. and Tyack, Peter L., A quantitative measure of similarity for tursiops truncatus signature whistles, J.Acoust.Soc.Am., 94(5), 2497-2506, 1993