

…平成14年度助成研究より…

ザトウクジラの歌を対象とした音響時系列 解析技術の確立と歌機能の推定



千葉大学 自然科学研究科
博士課程

山田 裕子



日本海ガメ協議会
小笠原海洋センター 所長

山口真名美

1. 動物の歌とは

いくつかの種類のある音があるルールで組み合わせられ、メロディーをもって発せられる鳴き声のことを「歌」という。陸上では鳥と人間、そして多くの虫たちが歌をうたう生き物である。小笠原諸島周辺海域に毎年春になると回遊してくるザトウクジラもまた歌をうたう動物としてよく知られている。ではザトウクジラはどのような動物だろうか。

2. ザトウクジラの歌

ザトウクジラは、1年を季節によって繁殖場と餌場の2つの離れた海域で過ごし、両海域間を周期的に移動している。冬には低緯度の暖かい海域で交尾、出産、子育てなどの繁殖活動をし、夏には餌の豊富な高緯度の冷たい海へ移動

して餌を食べる。浅い海を好み、大陸や島の沿岸部などで過ごすことが多いので、人間の目にも留まりやすく、ホエールウォッチングの対象となっている。

日本には毎年12月から5月にかけて小笠原諸島、慶良間列島に繁殖のために回遊してくる。我々の調査地である小笠原諸島は、東京の南約1,000kmに位置し、大小約180の島々からなる。慶良間列島は、沖縄本島の西約30kmに位置し、約20の島々から形成されている。

私がザトウクジラの歌をはじめて聞いたのは大学2年の春であった。調査船（小笠原海洋センター所有のアルバトロス号）の下からマイクを介さないで聞こえる彼らの歌は何とも神秘的で動物の営みのすばらしさを感じさせてくれるものであった。

ザトウクジラの繁殖海域における鳴音は1952年にはじめて録音され、それから20年後に Roger

Payneがこの鳴音が周期的で階層構造を持つことから「歌」と名付けた。歌は、テーマと呼ばれるいくつかのまとまりで構成されている。テーマはさらに小さなフレーズ（一小節）に分かれ、フレーズはユニットと呼ばれる音符が定型に繰り返して構成されている(図1)。オスだけが繁殖海域で鳴き、同じの海域内のオスは同じ歌をうたうとされてきた。そして歌は年々変化すると言われている。では、なぜザトウクジラは歌をうたうのであろうか。

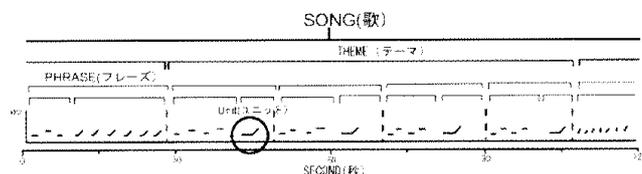


図1 ザトウクジラの歌の階層性。縦軸が周波数 (kHz) 横軸が字間 (秒) のソナグラム模式図

3. ザトウクジラの歌の機能

現在まで歌はオスだけにうたわれること、繁殖海域でのみうたわれるということから繁殖活動に関与していると言われてきたが、それが1)メスの誘因のためか 2)オスの縄張り防衛のためなのかということ未だに論争が続いている。

これまでザトウクジラの歌の研究は対象が大きな動物とあって、実験的な手法よりも録音さ

れた歌の解析と行動観察が中心となってきた。またこれまで歌の解析は音響構造に注目したものが目立ち、歌の階層構造に注目した研究はなされていない。しかし我々は、この階層性こそが、ザトウクジラの音声コミュニケーションにとって重要であり、音響構造ばかりに注目しているのは問題ではないかと考えた。

階層構造を持った歌をうたう鳴禽類のジュウシマツでは、階層ごとの遷移パターンが複雑である歌がメスに好まれることが明らかになっている。ここでいう複雑さとは音の配列パターンが単一のパターンではなく、様々な順序で配列していることを指す。ジュウシマツの歌の複雑さは、性淘汰により進化したということがこれまでの研究で支持されてきた。我々は、系統はかけ離れているが階層性を持ち、複雑な歌をうたうという共通性を持ったこの動物からヒントを得て、ザトウクジラの歌における階層構造と複雑さもまた、性淘汰により進化したという仮説をたて研究をすすめてきた。

性淘汰によって進化した歌ならば、メスが選択するために階層構造に何らかの個体差があるはずである。しかし、これまでの研究の結果では同じ海域(例えば小笠原諸島周辺海域)の個体は皆同じ歌をうたうとされている。そこで我々はこれまでの方法とは視点を変えて、鳥類の歌(特にジュウシマツ)の解析で使用されている音響時系列解析技術を、ザトウクジラの歌の遷移構造の解析に応用し、歌の個体差を明確にした。



写真 アルバトロス号

4. 歌の録音と解析

我々の調査地は小笠原諸島父島海域が中心である。日本海ガメ協議会小笠原海洋センターは調査船（写真参照）から尾ビレの写真を撮って個体を識別することを中心に彼らの生態を明らかにしてきた。歌の録音は同じ船により波の穏やかで時間に余裕がある際におこなう。うたっている個体（以後シンガー）はたいていの場合1頭で、潜水してから次に浮上するまでの間隔が20～30分と比較的長く、大きな移動は見られないことが多い。このようなクジラを見つけた場合は、ボートのエンジンを停止し水中マイク（ハイドロフォン）を水中に沈め、歌が聞こえるかどうか確認する。ハイドロフォンは、防水加工されたマイクと数十メートルのコードからなり、アンプを通してDATデッキに接続する。

シンガーが近くにいると歌が十分な音量と音質で聞こえれば、1時間以上を目標にして録音し、その時間や位置を記録する。海上の風が強いと、

水中のクジラにはさほど影響がなくても、水面に浮いている船は簡単に流されてしまい、歌の音量が小さくなってしまう。そんな時は、クジラのかなり風上まで船を走らせ、そこから録音をする。また、私達の研究では、うたっている個体の個体識別が重要であるため、尾ビレの写真を使用して個体識別を行った。長く潜水するシンガーの尾ビレ写真を撮るのは一見簡単そうだが、これが大変苦勞した。録音時、船のエンジンを停止しているため、風や海流に流されクジラからの距離が遠くなればオールで漕ぎなるべくクジラに接近しシャッターを押さなくてはならない。しかし、オールを漕ぎながら長時間どこに浮上するのか分からないシンガーを待つのは大変なことだった。

録音された歌はまず横軸時間、縦軸周波数のソナグラムになおす。それから人間の耳で聴いて独立性を判断できる音に分類をし、これらを固有のアルファベットで標識した上、音と音の間の遷移関係を示す図を描く（図2）。このような方法により、ザトウクジラの鳴音の音響構造からその時系列構造を明らかにし、個体差を検討した。

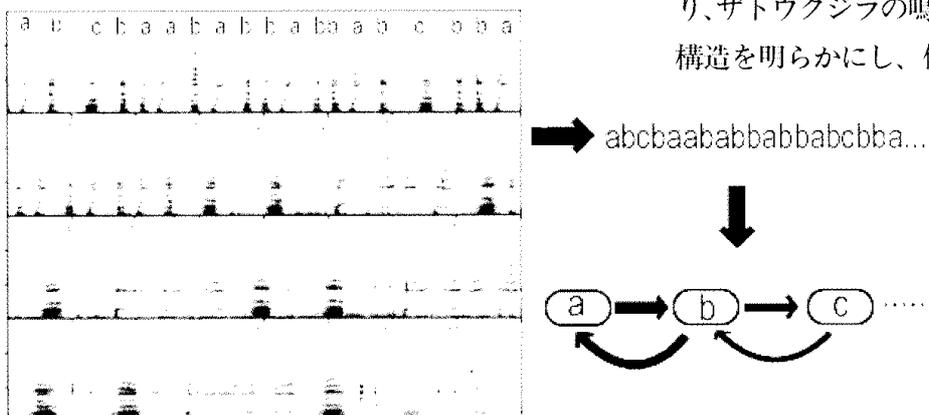


図2 歌の遷移解析方法

5. 歌の個体差について

2002年シーズンは12個体分の歌を解析することができた。一つ一つの音素にアルファベットをふり、その音素同士がどのように配列されているかを個体毎に示した(図3)。しかし、この図から個体差があるのかどうかは明確に示すことができなかった。耳で歌を聞いていると、個体間で違いがありそうであるが、図で表すとそれが明確に表れなかった。そこで、もう少し視野を広げて解析した。前述したようにザトウクジラの歌には階層性がある。音素(ユニット)は規則的なまとまりを作りテーマという大きなかたまりを作る。2002年の歌は6つのテーマか

ら構成されていた(図4)。このテーマに注目して解析をした。すると、個体差が明確になった。図5に12個体中5個体分の遷移図を示した。020425の歌は二つのテーマから成り、また020420は5つのテーマだけで構成されていた。また、テーマ数が同じであってもテーマの配列のパターンにはそれぞれの歌で違いが見られた。この中で尾ビレで個体識別できたのは2個体である。

この結果から歌にはいくつかのパターンがあることが分かった。ある個体は様々なフレーズを一定の順序でうたっていたが、別の個体は順序を変えてうたっていた。またある個体は一定のフレーズを繰り返すうたっていた。我々のこの違いを個体差だと考えた。

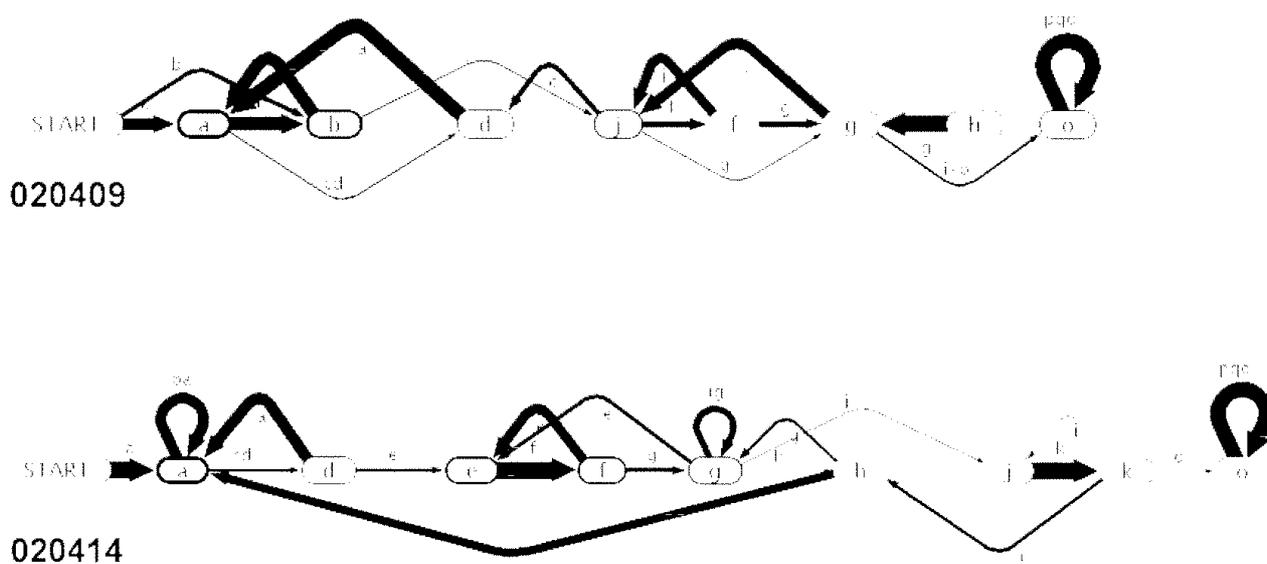


図3 ユニット(音素)間の遷移図。一つ一つの○が二つのユニットを示す。また線が太ければ太いほど遷移数が多いことを示す。数次は個体の番号を示す。

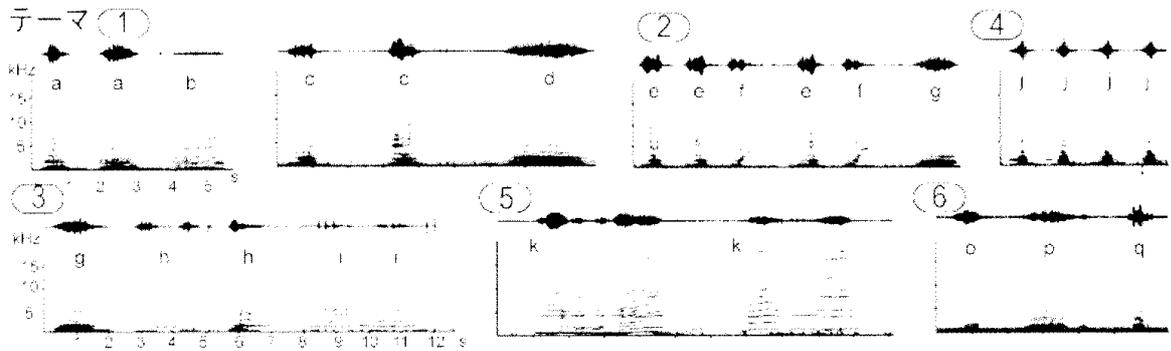


図4 6つのテーマソナグラム

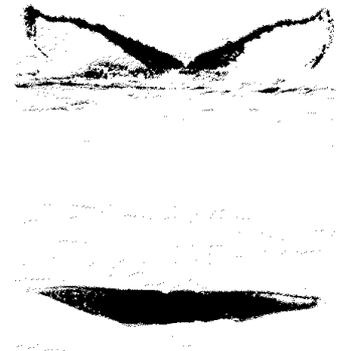
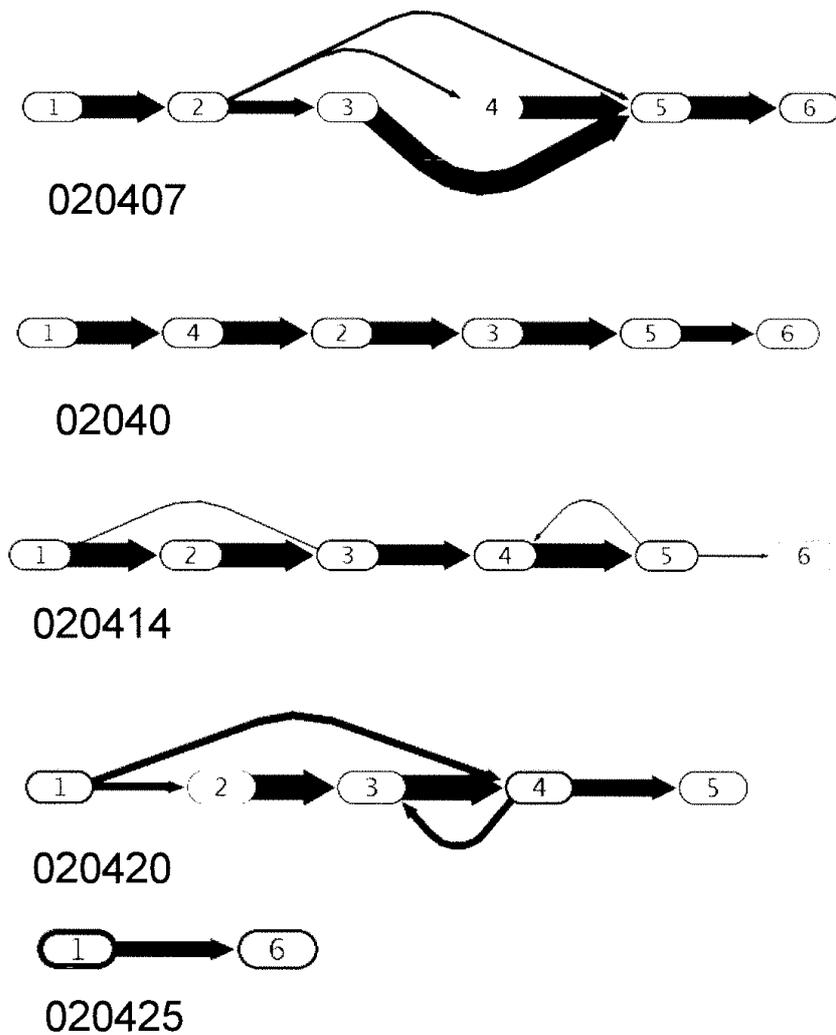


図5 テーマ間の遷移図。数字はテーマ番号を示している。線が太ければ太いほど遷移数が多いことを示す。数字は個体の番号を示す。尾ビレの写真は020409と020414個体のものである。

6. 今後の課題と展望

では、実際にこれらの歌構造の相違をメスが検出し、オスを選択しているのだろうか。今後我々はこの点に注目し、ザトウクジラの歌について研究を続けていきたい。具体的には、長時間録音できる水中マイクロフォンをメスの体表に付け、どのような歌が多く録音されているかを解析すれば、メスが近づく歌の構造が分かるのではないかと考える。

ザトウクジラの歌などの話題は、一般の興味を受けやすいだけに多くの事実が解明されていると思われがちである。しかし、事実はほとんどわかっていないのである。我々の研究では、研鑽した生物音響学の考え方・技術を生かして、

全く視点を変えたアプローチで検討することで、歌の機能について明らかにしていきたい。

ヒトの言語、トリの歌、クジラの歌は、生物界の中でも数少ない、学習によって獲得される音声信号である。特に視界が広がらない海の中で、音を中心にしてコミュニケーションをおこなってきたザトウクジラの歌は我々に「うたうこと」の多くのヒントを与えてくれるであろう。これまでクジラの歌の研究のみが遅れていたが、我々の研究により将来これら3つの系統の音声学習を直接比較検討することが可能となることを期待したい。また、ホエールウォッチング等をおしてクジラの世界を見るだけの楽しみだけではなく、学ぶ楽しみに繋がる研究にしたいと思う。