

# コウモリ・バイオソーナーの脳機構



東京医科歯科大学  
難治疾患研究所

助教授 谷口 郁雄

イランの旅客機を誤って打ち落してしまったヴァインセント艦の事件は、まだ我々の記憶に新しい。この艦に積んでいた戦闘システムはハイテク中のハイテクといわれていたものである。この事件が明らかにしたことは、航空機のような肉眼で容易に敵味方の区別がつく大きな物体でも、電子機器では簡単には識別できないということである。

それとは対照的に、暗闇の中を音を頼りに障害物を避けながら飛翔し、自分の好みの昆虫を捕食するコウモリのソーナーシステムの能力は驚異的である。

標的に向けて超音波パルスを発射し、それに返ってくるエコーから、瞬時に標的の種類、距離、速度などを決定する。このような能力をもつコウモリの脳は極めて小さく、多くは重さ1g以下である。コウモリのパターン認識の能力はいろ

いろな点で最新のレーダーよりも秀れているといわれている。そのおかげで、5千万年も前から生き残ってきたのである。しかし、彼らも生存の危機に瀕している。

私が興味をもっているのはキクガシラコウモリである。キクガシラは日本全国に分布している。大きさは翼を拡げると30cm以上にもなるが、体重は約17gでマウス位である。捕食する昆虫は蛾やコガネムシが多い。これらの昆虫は森林に生息するので、森林の伐採によって餌が減少し、コウモリの数も減少しているといわれている。さらに洞窟が観光の対象となり、内部に照明が付き、人々が出入りするようになると、コウモリはそれを嫌って移動する。棲む所も失くなってゆくのである。かつては数知れないコウモリたちが居たことを示す痕跡が照明のついた鐘乳洞の天井に残っているのをみると残念でならない。彼らも減りゆく種なのである。

コウモリを研究に使う前にすることは、給餌の訓練である。コウモリにピンセットでつまんだ生きた昆虫の幼虫を毎日与えて、そのうちに、ケージの中に置いた餌箱から自分でとることを覚えさせるのである。一ヶ月位で60%のものは覚えてくれるが、残りのコウモリは私が餌をやらないと断食している。特に難かしいのが幼ない動物たちで、自分で餌をとろうとはせず空腹になると飛んできて、私の服に勲章のようにぶら下って餌を催促する。過保護に育てるとダメになるのは人間だけでなく、はなさそうである。

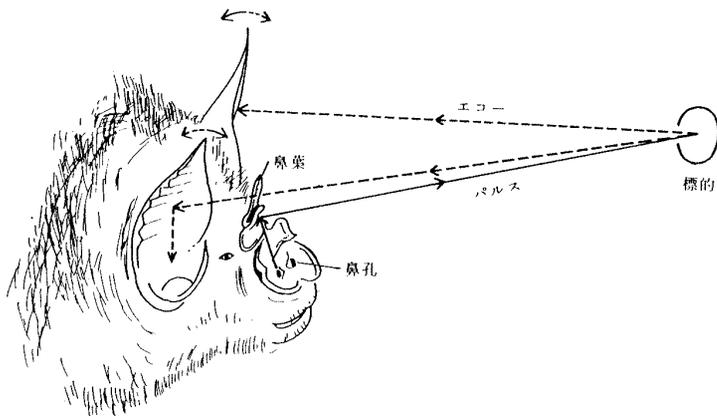


図1 キクガシラコウモリのバイオソナー

エコーロケーションに使う定位音（パルス）は鼻孔から発射され、鼻葉でビームとなって標的に向けられる。はね返ってきたエコーは耳介で受けて内耳へと送られる。そこで音は神経信号に変換され、標的の種類、距離、速度の情報が脳で処理される。

さて、私のキクガシラが他のコウモリと違うのは、鼻の孔から超音波パルスを発射することである(図1)。このコウモリの英語名 horseshoe bat の由来はその鼻の形が馬蹄形であることから来ている。

定位音（パルス）を声紋を調べる装置で解析すると、単純な音の要素からできていることがわかる。パルスは一定の周波数(CF)成分と FM成分から成り、CFは約65.5kHzである。このCFとFMは最も強い第二高調波で、基本波は弱くて観察しにくい。

一方、パルスとエコーを聞く聴覚の方はどうかというと、CFより少し高い66kHzあたりの周波数に鋭くチューニングしている。つまり、発声系と聴覚系とがうまく協調するように進化の過程で特殊化してきたのである。

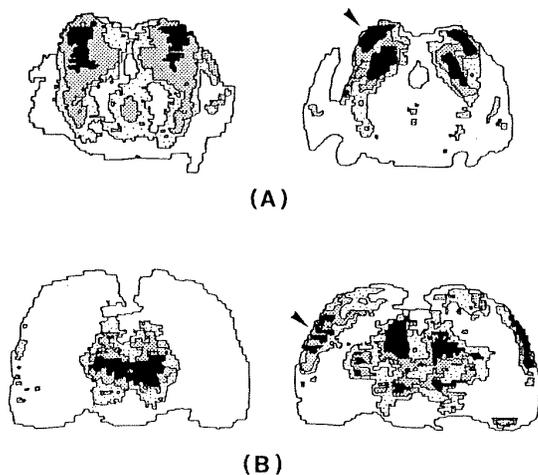
このコウモリのもう一つの特徴は約66kHzの人工的に作ったパルスを聞かせると、それに応じて鳴き出し、エコーロケーションを始めることである。人工的なパルスをエコーと感違いするらし

い。この習性のために、キクガシラは世界のコウモリ生理学者から注目されている。発声（運動）系と聴覚（感覚）系の統合機構を研究するにはもってこいの動物なのである。ところが、コウモリの脳の研究では最先端をゆくアメリカ新大陸にはキクガシラはいない。日本は幸いにも彼らが分布する旧大陸の far east に属している。

私の研究の目的はコウモリがエコーロケーション行動をしているときに、その脳はどのように機能的に組織化されるのかを調べることである。方法としてはオートラジオグラフ法を用いた。炭素のアイソトープ<sup>14</sup>Cをつけた一種のブドウ糖をコウモリに注射し、人工的なパルスを聞かせ、エコーロケーションを誘発させる。脳のエネルギー源はブドウ糖だから、脳の活動した部分ほど注射したブドウ糖を多く取込む。一定時間後、脳をとり出して脳の切片を作る。それを写真フィルムを重ねておくと、ブドウ糖を取込んだ所は<sup>14</sup>Cで感光するから、現像すれば黒くなってみえる。これがオートラジオグラフィーの原理である。それを画

図2 エコーロケーション時のコウモリの脳のオートラジオグラフ。

エコーロケーション時(右側)には下丘に層状構造(A)、大脳聴覚領にコラム(B)が矢印で示したように現われた。静止時(左側)には機能的構造は現われなかった。



像処理した結果が図2である。

エコーロケーション時には下丘(中脳にある聴覚中継の一つ)に層状構造を示すシマ模様が見われている(図2 A)。この層状構造は内耳にある周波数分析の装置の配列が反映したもので、下丘の表面から深い方に向かって、周波数は低い方から高い方に配列されている。おもしろいことにコウモリがただぶら下っているだけではこのようなシマ模様が現われない。

さらに上位の大脳聴覚領をみると、エコーロケーション時には、脳表面から深さ方向に向かって縦ジマが数本認められる(図2 B)。シマの一本一本は多数のニューロンからできたモジュールで機能的なコラムと呼ばれるものである。聴覚領で画像として観察されたのはこれがはじめてであろう。大脳は行動していない時にはほとんどエネルギーの消費がないことも図2 Bで明らかである。

行動時に出現する脳の機能的モジュールは脳が必要に応じて神経回路を組立てる自己組織化の現象によるものである。これは今はやりのニューロコンピュータの分野では重要な問題でもある。

現在の私の興味はコウモリのパルスとそのエコーに含まれる成分(CF, FM)が通説のように、大脳で別々の領域で情報処理されるのかということにある。CFとFMをそれぞれ単独で、あるいは組合せてコウモリを刺激し、オートラジオグラフを作ればそのことがわかるであろう。

結果はまだ十分に解析できていないが、通説とは違った脳地図になりそうである。その結果は音声認識のメカニズムを知る上で、動物は特殊であっても、普遍的な意味をもつてくると考えている。

1g以下の小さな脳といっても脳切片にすると1個の脳で400枚になった。これを使って立体的に三次元画像としてみたい。しかし、専門家に聞くと、そんなに大容量のコンピュータは我々にはまだ利用できないということである。<sup>14</sup>Cの半減期が5千年もあるから急ぐこともないが、外国の研究者も同じことをやり出したと聞くと、内心、気が気でない。

最後にこの研究の一部はサウンド技術振興財団の助成金によって行われました。感謝申し上げます。