

# エコーロケーションを用いた空間認識に関する研究

東北学院大学  
教養学部情報科学科  
松尾行雄

多くの動物が視覚を用いて外界を認識するのに対して、コウモリはFM超音波を用い、反射音から空間イメージを作ることによって外界をリアルタイムに認識している。これまでに実用化されている超音波レーダの場合、指向性の強い音波を使って一回出したエミッションに対するエコー（ワンショットエコー）から到達時間を決定しているため、3次元空間を再構成するためには空間をスキャンする必要があった。そのためリアルタイムの空間再構成は不可能であった。これに対してコウモリは動いている昆虫を捕獲できることから、物体の位置や形状をワンショットエコーから認識できていると考えられる。このような空間認識能力が応用できれば大変有用であると考えられるが、どのような情報処理が行われているかは明らかにされていなかった。私はこれまでに広指向性の超音波を用いて物体の位置や形状を決定できる計算手法を提案し、実際に実験システムを製作して提案手法の有効性を評価した。

具体的な研究内容を次に述べる。コウモリは2つの耳に対するエコーから物体の3次元上での位置そして形状を認識できている。エコー定位の問題としては、「どのようにエコーから複数物体の3次元上での位置を決定でき、どのように形状情報（音響イメージ）を復元しているか」、ということである。最初にエコー定位において最も重要なメカニズムの一つである任意複数物体の3次元位置を定位する計算手法を提案した。物体の遅延時間は奥行き定位の重要な手がかりであるが、2つの耳で受信したエコーの遅延時間からのみでは3次元位置定位することは不可能である。3次元位置定位するためには遅延時間だけでなく、物体の方向情報が必要である。コウモリの外耳の伝達関数は測定されており、音圧が急峻に低下する谷（ノッチ）が存在し、このノッチの周波数が方向依存的に変化していることがわかっている。したがって、外耳による干渉によってできたノッチ周波数は方向定位の手がかりとなる。しかし、奥行きが近接する2物体の場合、エコーはお互いにオーバーラップし干渉する。エコースペクトルから物体依存の干渉と外耳依存の干渉をわけることによって、近接する二つの物体の3次元上での位置を同定する計算論モデルを提案した。これを実験的に明らかにするためには、物体の方向情報となる外耳が必要不可欠となる。そこで、コウモリに真似た模擬外耳を製作し、その伝達関数を測定した。測定した伝達関数から、音圧が急峻に低下するノッチが存在し、このノッチ周波数

が音の入射方向依存に変化していることを確かめた。この模擬外耳を用いて、物体からのエコーを計測し、位置定位できることを確かめた。

次の問題として、近接する任意数物体の奥行き定位の問題が挙げられる。これまでの奥行き定位をする手法は近接物体を2つとし、その反射率も一定としていたため、実環境への適用が困難であった。奥行きが近接する3つ以上の物体の奥行きを決定するためには物体間の遅延時間差の順序を決定する必要がある。そのためには干渉パターンの時間変化を抽出する必要がある。この干渉パターンの時間変化を抽出し、奥行きを決定する計算論を提案した。奥行き定位の一般的な方法である相互相関では適用困難な反射率が異なる物体の場合でも各物体の奥行きを正確に決定でき、提案した方法の有効性を確かめた。

コウモリは物体の位置だけでなく形を認識しているので、物体形状を表現する計算論が必要となる。エミッションをインパルスとしたときのエコーは物体の音響イメージ（反射強度分布）となり、物体形状を表現するために必要不可欠な情報である。しかしながら、コウモリが出したエミッションの周波数帯は限定されており、聴覚末梢系の低時間分解能のため、エコーから反射強度分布を直接決定できない。音響イメージを復元するには、エコーに含まれていない情報を推測する必要がある。そこで、最小位相条件とスペクトルの連続性を用いて反射強度分布の形状を復元する方法を提案した。加えて、位置を決定するために、奥行き依存で振幅スペクトルが変化するガウス・チャープレットを聴覚末梢フィルタとして導入し、この抽出された時間変化から反射強度分布の奥行きを決定する方法を提案した。提案した手法を用いることで、任意の形状をもつ物体の音響イメージをエコーから復元できることを確かめた。

これら提案した手法を評価するために超音波送受信を行う実験システムを製作した。実験室内、また、屋外での測定結果から、複数の対象物の位置をワンショットエコーから位置定位できていることを示した。ここでの研究成果は音響定位に関する新しい分野を開拓できる可能性があると考えられ、光の使えない環境における3次元空間の知覚が可能になるなど、障害福祉や医療用診断器、海中や地中での空間認識など用途は広いと考えられる。その一つの応用例として駐車支援があげられる。駐車を行い際に障害物の位置を認識することは大変重要であるが、これまでの技術では到達時間を用いた距離しか測定していなかった。提案した超音波送受信装置では、障害物の距離だけでなく、方向を決定できることを明らかにし有効性を確かめた。