

音の散歩路

～聞こえない音で「見る」～

東京工業大学名誉教授
一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団
サウンド技術振興部門審査委員



蜂屋 弘之

「音の散歩路」読者の皆さんは、聞く「音」に携わっている方が大部分ではないかと思うが、ここでは、皆さんにあまりなじみがないであろう、私の専門としている聞こえない音の世界について紹介させていただくこととしたい。

■自然界での聞こえない音の使い手

自然界で聞こえない音を巧妙に利用する生物として、コウモリとイルカがよく知られている(図1)。

都心でもコウモリが生息していることが話題になることがある。勤務していた大学の敷地内でも、夕方になるとかなりの数のコウモリが活発に飛んでいるのをみるがあった。薄暗く



図1 聞こえない音を利用する生物

ならないと飛び始めないので、気がつかない学生も多いのだが、皆さんは飛んでいるのを見たことがあるだろうか。羽を広げても手のひらぐらいの小型コウモリなので、注意しないとわからないかもしれない。

人間と同様、多くの動物がわれわれにも聞こえる音を使ってコミュニケーションしている。コウモリは、コミュニケーションとしての音以外に、周囲に光がない時間帯に高速で飛翔し、獲物を捕食するために、聞こえない音を巧みに使っていることが知られている。聞こえない音とは、人間の聞こえない高い周波数の音「超音波」である。音の高さは、数十kHzで、短い時間幅(数msから数十ms)のパルスとして放射し、物体からの反射音を検出することで、物体までの距離や、速度を検出している。建物のような大きな物体からの反射音は比較的大きな振幅で戻ってくるが、コウモリが捕食対象としている小さな昆虫からの反射波の振幅は非常に小さい。それにもかかわらず、この反射音を用いて、獲物を捕らえることができることは驚くべきことである。

コウモリと並んで超音波を放射し、物体からの反射を利用して周囲を見ている生物としてイルカが知られている。イルカは100kHz以上までの音を聞くことができ、濁水中では音を使っ

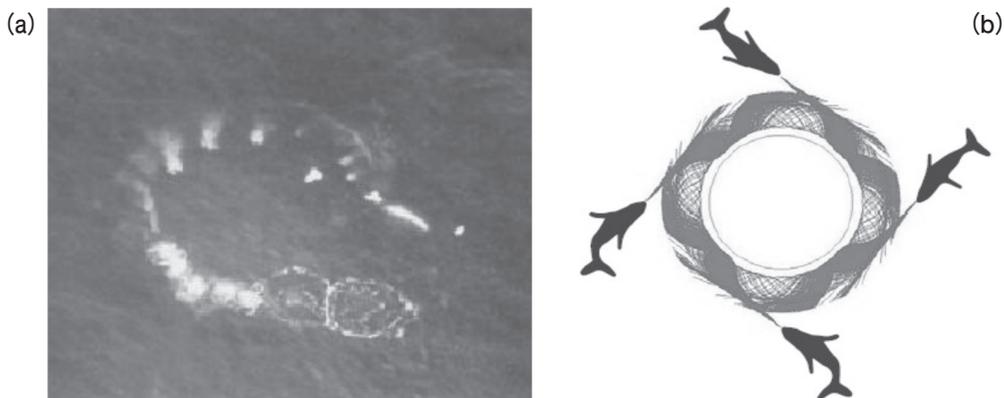


図2 (a)複数のイルカによって作られた泡の網
(b)泡の中に閉じ込められる音波の経路¹⁾

て周囲を探索しており、物体の材質などの特徴を把握できることが明らかとなっている。また、イルカは魚の補食時に複数の個体が共同して図2(a)のように気泡を発生させながら魚を追うことが観察されているが、同時に音響信号も観測されており、この気泡中に音響信号を閉じ込め、網のように周囲を囲み、さらに気泡中の魚を、音波を用いて検出している可能性が指摘されている(図2(b))¹⁾。

このように、自然界には、聞こえない音を周囲を「見る」ために使っている生物がいるが、音をどのように処理しているかの詳細については明らかになっていない点も多く、研究が続けられている。

■超音波で何を「見る」ことができるのか？

コウモリやイルカが、周囲の状況を把握するために用いている超音波であるが、われわれも、さまざまな分野で超音波を利用している。最近の乗用車では、駐車時などの低速走行する時に、周囲の障害物の検出に超音波を用いる車種もあり、カメラの死角にある障害物や、夜間の障害物探知などに利用されている。医療分野では、超音波診断装置が広範に用いられており、

体内の詳細な画像化が可能になっている。超音波は、周波数が高いため、希望する方向に音波を集中させることができるので、どちらの方向に物体があるのかを把握することができる。超音波診断装置では、mm以下の範囲に音を集中することができ、精密な体内の画像化が可能となっている。このように、超音波は普段の生活でわれわれが用いている音とはだいぶ違う性質がある。

光や電波が届きにくい海の中は、このような環境下でも情報を伝えることができる音波が大活躍している。漁船には、魚群を検知するための魚群探知機が数多く装備されていて、魚の捕獲に利用されている。また、海底の地形を把握するためにも、超音波が用いられており、詳細な海底地形図が音波によって得られている。最近では、地殻変動に伴う海底のcm程度の移動が観測できるようになっており、地震予測に利用されている。

さらに、深度1,000mを超える海域では、音波は予想もしない距離を伝搬することが知られている。これは、海の中の音の速さが深さによって特徴的な変化していることによる。海の中の音の速さ、音速は、温度と圧力によ

て変化する。それでは、海の中の温度や、圧力はどのような深度分布になっているのだろうか。

海の表面近くの海水温は、波や風によって水がかき混ぜられているので、ほとんど変化しないが、深度が深くなるにつれて温度は低下していき、2000mを超える深海では数度の温度に達してほぼ一定となる。一方、圧力は、深度の増加とともに一定の割合で増加し続ける。

海中の音の速さは、温度が低いと遅くなり、圧力が高いと速くなる。海の表面から、深度が増加していくと、温度が低下するので、音速は低下する。さらに、深度が大きくなると、温度の変化が少なくなるため、圧力の増加の影響がほとんどとなり、音速は徐々に増加していく。温度と圧力の二つの変化の効果により、音速の深度方向の分布は、全体としては「く」の字の形をしており、深度1000m付近で音速が最小になる（図3）。

この特徴的な深度方向の音速変化のため、音の伝わり方も大きな影響を受ける。音は、音の速度が小さい方向に曲げられる性質がある。そのため、図4に示すように、深度1000m付近の音速の小さな場所から水平方向に音を出したとすると、上方に進む音波は下方に、下方に進む音波は上方に曲げられることとなる。この音波

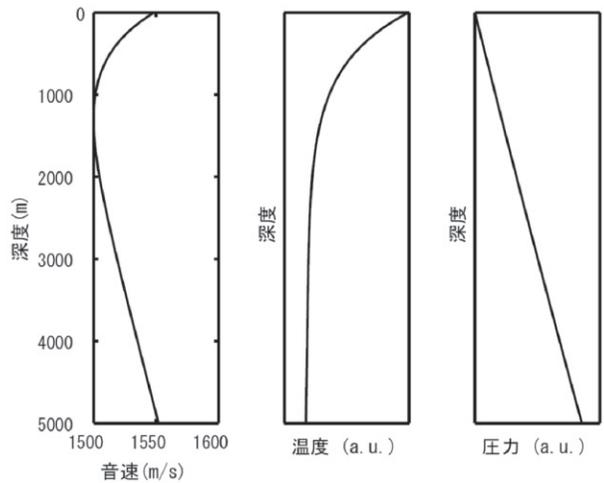


図3 海洋における音速(左)、温度(中央)、圧力(右)の深度方向変化

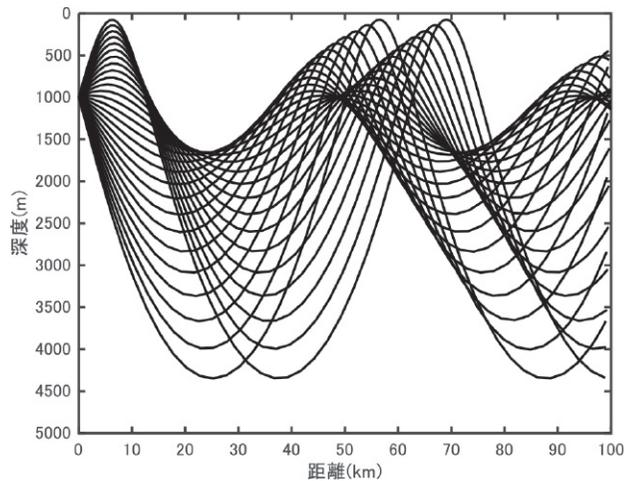


図4 海洋中の音波伝搬の様子

の方向変化が繰り返して生じるので、海中の音波の中には、図に示すように海面海底に反射せずに伝わる音波が存在することになる。図4において、横軸は100km、縦軸は5km（500m）であり、実際の寸法からすると横方向に大きく圧縮され、縦方向に引き伸ばされていることに注意していただきたい。実際のスケールの図となるよう横方向に図を引き伸ばしていただけ

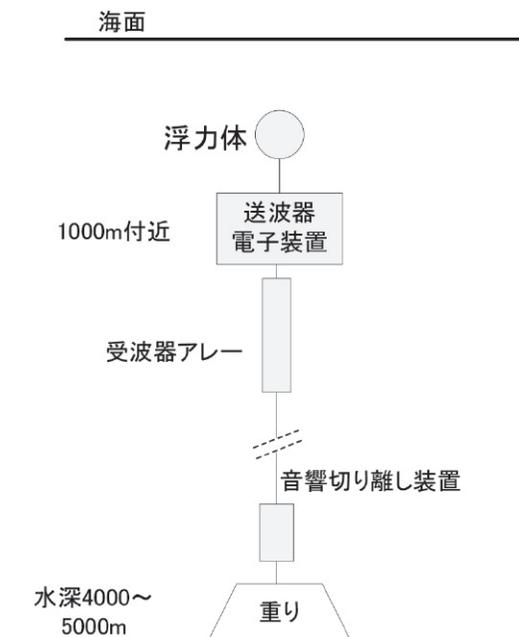


図5 観測機器の設置方法

ば、非常に薄い厚さの海洋中を音波が伝搬していることがわかるかと思う。海底や海面に当たらずに音が伝搬できれば、音波はあまりエネルギーを失わずにすむので、音波は遠距離まで伝搬することができる。音の周波数を選べば、数千kmの長距離伝搬も可能で、海底火山の爆発音や鯨の鳴き声が遠く離れた場所で観測されることも報告されている。

このような長距離伝搬音波を用いて、広域の海洋計測も試みられている。数kmから数百km離れた送受波器間に音波を伝搬させ、伝搬時間を測定すると音波が伝搬した海域の温度の状況を観測できる。このような観測のためには観測機器を一定の場所に設置する必要があるが、これには、図5に示すような設置方法が用いられる。重りと浮力体の間に送受波器を置き、船上から落下させる。観測後は、船上からの音響指令により重りの上部にある音響切り離し装置により、重りから観測機器が切り離され、装置は浮上し回収される。写真1は、観測機器を船上



写真1 音波の送受波器の投入風景



写真2 揺れる観測船から見る富士山

から下ろす状況の写真である。この機器は、比較的小型なので、簡単な装置で下ろされているが、大型の観測機器では、大型観測船を用いてクレーンにより下ろされることとなる。

海洋観測の日程は、観測船の年間スケジュールなどで決まってしまうのだが、天候状況は予定日近くにならないとわからないので、海の観測実験は予定通りにならないことがよくあ

る。データがとれればよいが、機器の不調や、天候の状況などで思い通りの測定ができないこともあり、次の年に観測が持ち越されるなど、海の実験は困難が多い。このような時でも、近海の観測であれば、揺れる船の上から富士山などを望むことができ、一息つけることもある(写真2)。しかし、黒潮域での観測などでは、陸地はみえず、水平線のみが見える時間が長期にわたり続くこととなる。

このように、聞こえない音の周辺には、日常

に感じる音環境とは違った風景があり、このような分野にも興味をもっていただければ幸いである。

参考文献

- 1) Timothy G. Leighton 他, Hypotheses on the Acoustics of Whales, Dolphins and Porpoises in Bubbly Water, Proc. UAM2009.