

10

魚群探知機で魚の動き方まで分かるのはどうしてか？

漁では、100メートル以上の深いところにいる魚も獲物とします。しかし、これほど深いところにいる魚を目視で見つけるのは不可能でしょう。そこで活躍するのが、魚群探知機です。実は、世界で初めて実用化されたのは日本製の魚群探知機です。古野電気商会によって開発され、1948年に販売が開始されました。

今回は、魚群探知機の仕組みについて考えてみましょう。魚群探知機では、深海に魚がいるかどうか、水深や海底の起伏がどうなっているかなどを読み取ることができます。巻き網や底びき網を使う漁では、海底の様子を知ることが重要になります。

また、魚の量を推測することもできます。さらに、魚がどのくらいの速さで移動しているかまで分かってしまいます。どうしてそんなことまで分かってしまうのでしょうか？

魚群探知機で利用するのは、光や電波といったものではなく「超音波」です。光や電波といったものは「電磁波」と呼ばれま

すが、電磁波は水中ですぐに減衰してしまうため利用できないのです。それに対して、音波は水中をよく伝わります（161ページ参照）。

私たち人間が聴くことができるのは、およそ20～20000 Hz（ヘルツ）という周波数の音波です（個人差があります）。1秒間に振動する回数を表すのが「周波数」で、例えば1秒間に400回振動するのが400 Hzの音波です。周波数が大きいほど、高い音として聞こえます。

そして、周波数の大きい音波ほど波長が短くなります。

周波数が小さい音波：波長が長い



周波数が大きい音波：波長が短い



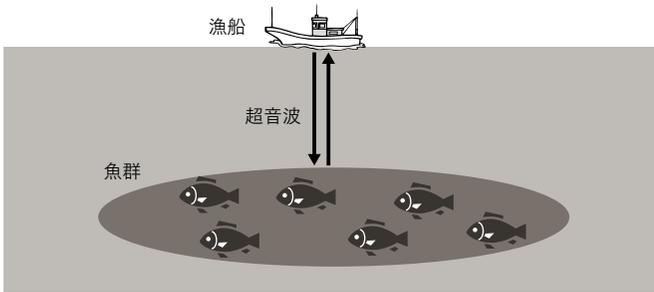
波長が短い音波には「広がりにくい」という特徴があります。壁の向こうで話している声が聴こえることがあります。これは音波が壁の裏側まで広がってくるからです。このとき、波長が短い（周波数が大きい）と広がりにくくなるのです。

超音波とは、人間には聴こえないほど周波数の大きい音波のこ

とです。そのため波長は非常に短く、水中でも広がらずに進んでいきます。超音波は狙った方向に集中して発射することができるため、魚群探知機に利用されているのです。

それでは、超音波を利用して魚群の様子を知る方法を考えてみましょう。まずは、魚群の存在を知る方法です。

魚群のいる方向に超音波が発射された場合、超音波は魚群によって反射されます。それが漁船まで戻ってくれば、超音波が漁船と魚群の間を往復する時間が分かり、魚群の深さを知ることができます。



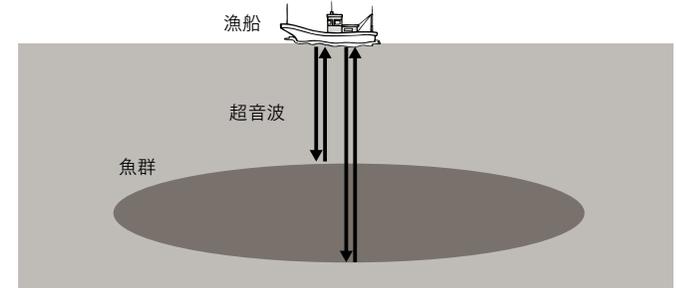
図のように漁船の真下の魚群から超音波が反射される場合、

$$\text{魚群の深さ} = \frac{\text{超音波の速さ} \times \text{往復時間}}{2}$$

と見積もることができます。超音波は水中で 1500 m/秒ほどの速さで進むため、深いところにいる魚群からも短時間で超音波が戻ってきます。

ただし、超音波が一斉に発射されたとしても漁船に戻ってくる

時刻にはバラツキが生まれます。それは、魚群に厚み（幅）があるからです。魚群の上面で反射した超音波が最も早く、下面で反射した超音波が最も遅く戻ってきます。



このとき、最も早く戻る超音波の受信時刻を t_1 、最も遅く戻る超音波の受信時刻を t_2 とすると、超音波が魚群の中を往復する時間が $t_2 - t_1$ だと分かり、そのことから

$$\text{魚群の厚さ (幅)} = \frac{\text{超音波の速さ} \times (t_2 - t_1)}{2}$$

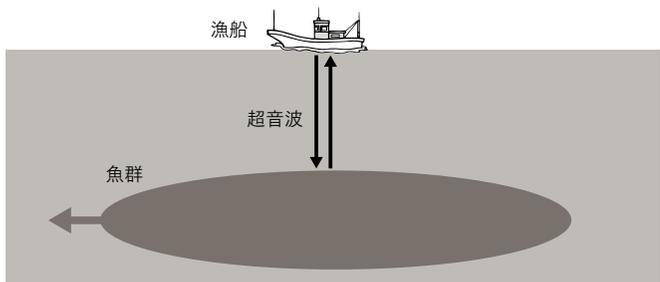
と求められるのです。魚群探知機を使えば、群れの大きさまで推定できてしまうのですね。

ここまでで、魚群探知機を使って魚群の存在およびその大きさまでを知ることができる仕組みが分かりました。

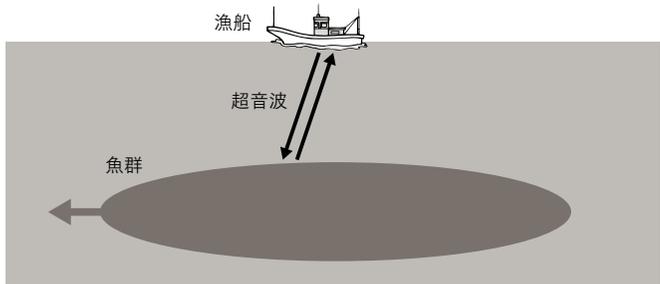
ところで、魚は海中でじっとしているわけではなく泳いでいます。狙いを定めた魚群がどのくらいの速さで移動しているのか分かれば、狙いやすくなりそうです。そして、魚群探知機はこれを知ることができるのです。それには、魚群で反射するときに超音

波の周波数が変化することを利用しています。

いまは、魚群が水平方向に進んでいるとしましょう。これに対して鉛直方向に（真下に向けて）超音波を当てた場合、反射による周波数の変化は起こりません。



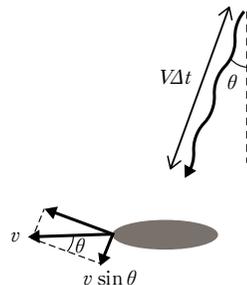
反射によって周波数が変化するのは、次のように鉛直方向からずらして（斜めに）当てる場合です。



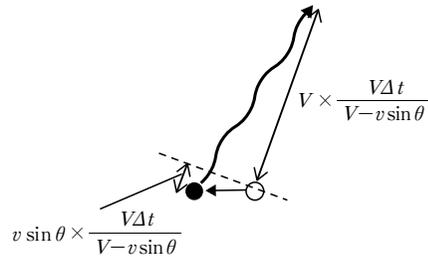
このときに起こる周波数の変化は、次のように求められます。

漁船から、振動数 f の超音波が時間 Δt の間だけ発射されたとします。この超音波が海中を進む速さを V とすると、発射された超音波の長さは $V\Delta t$ となります。

発射された超音波は魚群に向かって速さ V で近づいていきますが、魚群は超音波から逃げるように移動していきます。このとき、超音波の進む向き鉛直方向からのずれを θ 、魚群の速さを v とすると、超音波から遠ざかる向きの速度成分は $v \sin \theta$ となります。



よって、魚群からは長さ $V\Delta t$ の超音波が速さ $V - v \sin \theta$ で近づいてくるように見えるのです。ここから、超音波が魚群で反射するのにかかる時間は $\frac{V\Delta t}{V - v \sin \theta}$ と分かります。反射した後も、超音波は速さ V で進んでいきます。よって、反射が終わった瞬間には超音波の先端は反射が始まった位置から距離 $V \times \frac{V\Delta t}{V - v \sin \theta}$ だけ離れた位置にあります。また、反射が終わった位置がこのときの超音波の後端となります。



以上のことから、魚群にぶつかるまでは長さ $V\Delta t$ だった超音波が、反射後には長さ

$$V \times \frac{V\Delta t}{V-v\sin\theta} + v\sin\theta \times \frac{V\Delta t}{V-v\sin\theta} = \frac{V\Delta t(V+v\sin\theta)}{V-v\sin\theta}$$

に引き伸ばされることが分かります。

この反射波を、漁船で探知します。反射波が漁船に近づく速度は V なので、漁船ではこれを

$$\text{時間} = \frac{\frac{V\Delta t(V+v\sin\theta)}{V-v\sin\theta}}{V} = \frac{(V+v\sin\theta)\Delta t}{V-v\sin\theta} \text{だけかけて聴く}$$

(受信する) ことになります。

これは、超音波が発射された時間 Δt の $\frac{V+v\sin\theta}{V-v\sin\theta}$ 倍 (> 1 倍) です。

超音波を聴くのにかかる時間が長くなると、聴こえる振動数 (単位時間に聴く波の数) は小さくなります。両者は反比例の関係にあるので、漁船で受信する振動数 f' は

$$f' = \frac{V-v\sin\theta}{V+v\sin\theta} f$$

となることが分かります。この関係を利用して、魚群の速度 v を知ることができるのです。

魚群探知機を使うことで、魚群を探すだけでなくその情報を得ることもできるのだと分かりました。

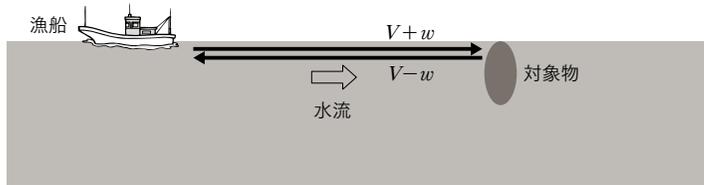
ところで、魚群探知機と似たものに「ソナー」があります。構造は似たものですが、魚群探知機では漁船の真下方向を探索するのに対して、 360° 全方位の観測をできるのがソナーの特徴です。

ソナーを使って対象物までの距離を測定する方法は、基本的には魚群探知機と同じです。すなわち、発射した超音波が戻ってくるまでの時間をもとに計算するのです。

ただし、水平方向に発射した超音波は水流の影響を受けることに注意が必要です。超音波が水流と同じ向きに進むときには速く、逆向きに進むときには遅くなるのです。対象物までの距離を求めるときには、このことを考慮して計算する必要があります。

漁船から水平方向に発射した超音波が、漁船と同じ深さにある対象物で反射して漁船まで戻る状況を考えてみましょう。このとき、漁船から対象物に向かって速度 w の水流があるとします。すると、水流がないときの超音波の速度を V とすると、漁船から対象物に向かう超音波の速度は $V + w$ 、対象物から漁船へ戻ってくる超音波の速度は $V - w$ となり

ます。



超音波が漁船を出発してから戻ってくるまでの時間を T とすると、 T は漁船と対象物との距離 L を使って

$$T = \frac{L}{V+w} + \frac{L}{V-w} = \frac{L\{(V-w)+(V+w)\}}{(V+w)(V-w)} = \frac{2VL}{V^2-w^2}$$

と表せます。ここから、漁船から対象物までの距離を

$$L = \frac{(V^2-w^2)T}{2V}$$

と求めることができます。

ソナーを使って対象物までの距離を求められる仕組みが分かりましたが、1つ問題があります。距離 L を知るには、水流の速さ w が分からなければならないということです。これはどのように求めるのでしょうか？

水流の速さ w は、漁船から発射するときと漁船に戻ってくるときでの超音波の波長の変化から知ることができます。

水流に乗って進む超音波は、単位時間に距離 $V+w$ だけ進みます。この中には超音波の振動数 (f とします) の個数の波が含まれるので、波長は $\frac{V+w}{f}$ となります。水流に逆らって進む場合は、単位時間に距離 $V-w$ だけ進むことから波長は $\frac{V-w}{f}$ となるのです。すなわち、超音波の波長は行きと帰りでは

$$\frac{V+w}{f} - \frac{V-w}{f} = \frac{2w}{f}$$

だけ変化するのです。

このことから、超音波の波長の変化を測定することで、水流の速さ w が求められると分かります。

今回は、魚群探知機およびソナーを使った測定の仕組みについて物理的に考えてみました。魚群の存在、魚群までの距離、魚群の動きを知ることは釣りにとって極めて重要です。釣りは物理学に支えられており、物理学を上手に活用することがポイントなのだと分かりますね。

ただし、起伏の激しい複雑な海底では、魚がいても魚群探知機ではとらえられないこともあります。また、魚の移動速度が大きければ映ってもすぐに消えてしまいます。このようなことから、魚群探知機に執着せず自らの勘を信じる船長も多くいるのです。

魚群探知機

魚群探知機に映るのは、船の下やその周辺にいる魚だけです。速く泳いでいる魚は、映ったとしてもすぐに消えてしまうため、魚群探知機が常に頼りになるわけではありません。魚群探知機で魚が見つからない場合、実績のあるポイントや、魚を狙う鳥、潮目、そして船長の勘が頼りになります。

特にマグロのような捕食が激しい魚は、勢いよく水面から飛び出すことがあります。このように魚体が飛び出す現象が頻繁に起こると「ナブラ」と呼ばれ、遠くからでも確認できるほどの水しぶきが上がります。「ナブラ」や、その周りに集まる鳥たちが作る「鳥山」を見つけたときは、期待が一気に高まります。まるで魚群探知機に勝った瞬間のようです。

ところで、魚群探知機から発せられた超音波は水中を進むうちに少しずつ弱くなっていきます。そのため、深い場所の様子を知りたい場合には、より強い超音波が必要になります。最近の高性能な魚群探知機は、海底に生息する根魚の生態に影響を与えていると言われています。魚群探知機の性能向上により、一部の地域では根魚が過剰に釣られ、絶滅の危機に瀕するほどです。回遊魚は餌を求めて移動するため影響を受けにくいのですが、根魚は棲処を変えないため、魚群探知機の影響を強く受けやすいと言えるでしょう。