

インピーダンス

講義において教える物理の中に、インピーダンスという概念がある。インピーダンスとは、語源から考えると、さまたげるものということになる。ただ、それだけの認識では誤解が生じる。一口にインピーダンスといっても、様々な分野でインピーダンスという概念及び用語が用いられており、インピーダンスをよく理解することは重要である。以下に、その医学・医療との関わりのあるインピーダンスについて簡単に述べ、物理と医学・医療の交流的な話題の一つとしたい。

音波に関するインピーダンスとしては、音響インピーダンスが定義される。それは超音波エコーの原理を理解するための基本概念の一つと言えらる。音響インピーダンスは媒質ごとに定まる。そして、超音波に限らず、一般に音波が異なる媒質間をわたって伝搬して行く際、媒質間で音響インピーダンスが一致する場合、音波は媒質界面で反射することなく透過するが、一致しない場合は、媒質界面で反射が起こる。どれだけの割合で反射するかは、2つの音響インピーダンスの比に依存する。超音波エコー検査法では、各組織での音響インピーダンスの違いを反映した、超音波の透過と反射を利用している。音波を生体に進入させた場合、超音波は異なる組織の境界で透過と反射を起こし、生体外の受信機で反射波を検出し、そこに含まれる情報から生体内部を推定できる。

また、少し異なる視点で生体における音響インピーダンスを考えることができる。それは、外耳、中耳、内耳にわたる音波伝搬の問題に関係する。外耳は空気、内耳は液体(リンパ液)を音波で振動してもらう必要がある。この場合、音波の進行は、基本的に外耳から中耳を経て、内耳に至る向きになる。ここで、気体(空気)から液体へ至る際に媒質が変化することは、音波の伝搬にとって大きな問題である。明らかに、気体と液体では音響インピーダンスが

大きく異なる。そこで、気体(空気)–液体の間で直接的に音波を伝えようとする、ほとんど透過波はなく、気体と液体の境界においてほぼ反射されてしまう。そこで、この反射をある程度低減するために、インピーダンス整合・変換が必要となる。つまり、インピーダンスの違いの影響をなるべく小さくするためのある種の変換器が、媒質の間に必要となる。この役割を担っているのが中耳である。中耳の構造は、物理学的に見ると力学的な機構を利用したインピーダンスに関する装置とみなすことができる。

次に、電気に関するインピーダンスについて述べる。現在、人体等の体組成分析の際に、比較的簡便な方法として、電気インピーダンスを計測することが行われている。細胞の集合体である人体に交流電流を流した際、その交流の周波数によって、電流の流れる経路が異なる。これは人体を電気回路モデルで考えると理解しやすい現象である。このモデルで最もシンプルなのは、人体を電気抵抗とキャパシタ(コンデンサ)を要素とする回路とみなす。周波数によって電流経路が変化することをインピーダンスの変化としてとらえることで組織等に関する情報を得ている。一般的な民生用の体組成計では、人体の電気回路モデルをもとに、生体電気インピーダンス計測によって体脂肪率等を推定している。

このようにインピーダンスは重要な概念であり、上記以外にも例えば医用工学の分野で有用なものとなっている。機器に関して言えば、各種信号の伝達にも電気インピーダンスは考慮されている。なお、ここではインピーダンスについてのみ述べたが、他にも物理学にもとづく生体工学、生体物性、医用工学などの観点から医学・医療における有用な概念が多数存在している。

(医学部物理学研究室教授：川口高明)

DOI：10.14994/tohoigaku.64-02-150