

## 電波の発見

### —— ヘルツの実験とマクスウェルの予言

私たちの周りにはさまざまな電波が飛び交っています。その電波を本格的に利用するようになったのは20世紀になってからですが、電波そのものは人類が誕生する以前から自然界には存在していました。雷が鳴って稲妻が走ると、放電した電気の流れから空中に電波が放出されます。宇宙からもさまざまな電波が地球に降り注いでいます。

しかし電波は目には見えないし、手で触ることもできません。そのような電波の存在を、実験で確認したのは、ドイツの物理学者ヘルツで、1888年のことです。

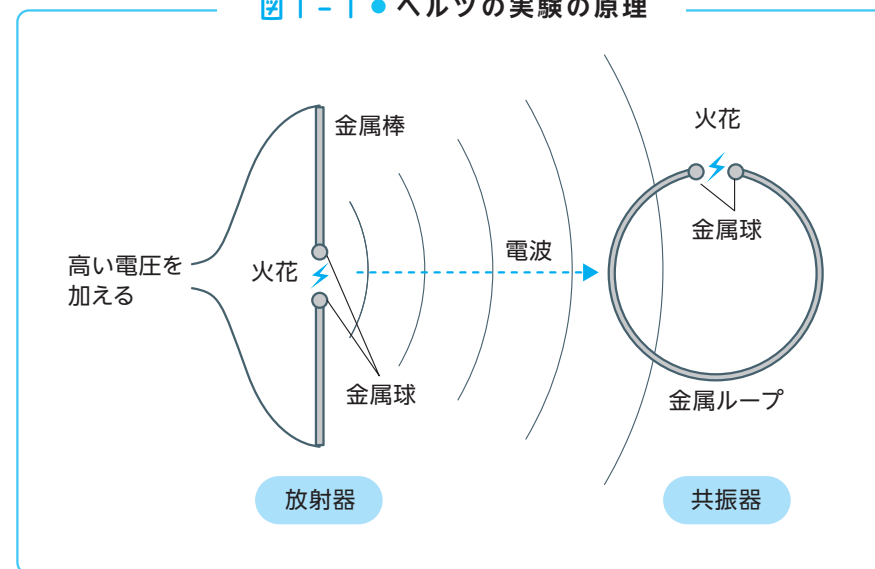
ヘルツはあるとき、図1-1に示すようなしくみで実験を行っていました。図の左側にある2本の金属棒に高い電圧を加えると、狭いギャップの間に火花放電が起こります。すると近くに置いてあった金属ループの狭いギャップに小さな火花が発生することを発見しました。火花放電を止めると金属ループの火花も消えます。2本の金属棒とループを直接つなぐものは何もないので、金属棒のギャップの火花から出た何かが空中を伝わってループに火花を発生させたと考えざるを得ません。その何かが電波だったのです。

現在では火花放電から電波が出ることはよく知られています。

例えば、雷が鳴るとラジオ（とくにAMラジオ）にガリガリと雑音が入ります。アナログテレビ放送の時代には画面に白・黒の斑点が入ったことを覚えている方もいると思います。自動車でラジオを聞いているときに隣をバイクが走ると、エンジンの火花放電から電波が出てラジオにノイズが入ることを経験した人も多いと思います。ヘルツの実験はこの火花放電から発生した電波をはじめで実験で確認したことになります。

ヘルツの実験装置では、左側の2本の金属棒が電波の放射器、右側の金属ループが共振器です。ヘルツは拡大鏡で金属ループのギャップに生じるかすかな火花を観察しながら、放射器に対して受信側の共振器の向きを変えたり距離を変えたりして、どのような条件で火花が発生するかを丹念に調べました。その結果、放射器と共振器の間の距離を変えていくと、一定の距離間隔で金属ループに火花が誘導されることから、放射器から発生しているも

図1-1 ● ヘルツの実験の原理



のは波のようになっていると考えました。

ヘルツが電波の存在を発見する以前に、第2章で述べるように、イギリスの物理学者マクスウェルが電気と磁気が絡まってできている電磁波の存在を理論的に予言していました。このことを知っていたヘルツは、自分が発見した電波はマクスウェルが理論的に予言した電磁波であると確信しました。私たちが電波と呼んでいる波は電磁波の一種です。

そのヘルツも、自分が発見した電波の実用的な価値を理解していませんでした。電波を発見したことを発表したとき、「それが今後何の役に立つのか」と問われて、「たぶん、何もない。単にマクスウェルが正しかったことを証明しただけの実験だ」と答えています。もしヘルツが、今日のようにありとあらゆるところで電波が利用されていることを知ったら、きっと目を回すほど驚くことでしょう。

ヘルツは電波を発見した6年後の1894年にわずか37歳という若さで亡くなりましたが、彼の名は周波数の単位「ヘルツ (Hz)」(16ページ参照)として残されています。

## 1-2

# 電波の周波数

## ——1秒間に波の山がいくつあるか

電波はその名が示す通り、電気の波です。英語は“radio wave”で、やはり「波 (wave)」という言葉が使われています。その電波は正確には電磁波と呼ばれる波の一種で、電気と磁気が絡まってできた波ですが、ここでは単に波としての基本となる要素を考えることにしましょう。

波にはいろいろな形がありますが、もっとも基本的な波は図1-2に示すような形をしています。山と谷が交互に現われる滑らかな波です。これは「サイン波 (正弦波)」または「コサイン波 (余弦波)」と呼ばれる波です。皆さんも高校時代に、数学で3角関数のサイン (sin)、コサイン (cos) を習ったことがあるでしょう。あのサイン (またはコサイン) をグラフにすると図1-2の形になります。「サイン波」、「コサイン波」のどちらも使われますが、本書では「サイン波」に統一して使うことにします。

海の波を見てもわかるように、波は1カ所にじっと止まっていることはなく常に動いています。図1-3 (a) はこの様子を示したもので、波は一定の速度で左から右の方向へ進んでいます。このとき、A - A'の地点に棒を立てておくと、波が進むにつれて棒にかかる水面の高さが時間とともに変化します。もっとも水面



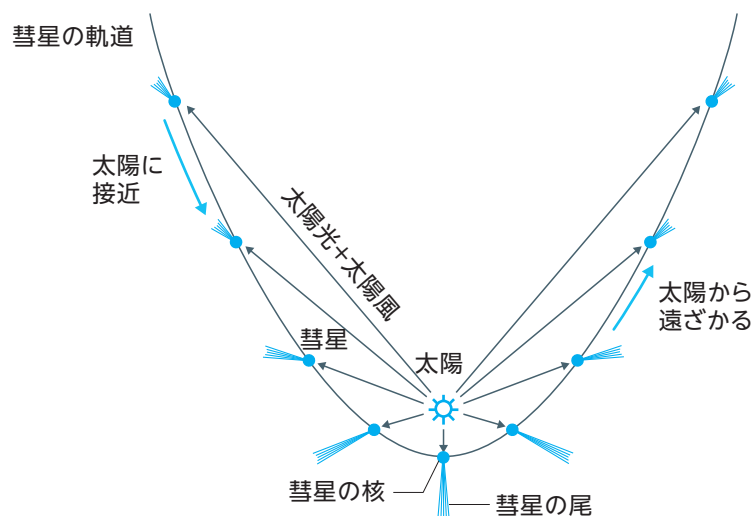
## 光に圧力はあるか？

### —— 太陽光の圧力で探査機を推進

光には圧力があるのでしょうか。私たちは強い光線を浴びても圧力を感じることはありませんが、光にも圧力があります。鏡も光を反射するとき弱いながら光の圧力を受けていますが、それでも鏡は動くことはありません。圧力が弱すぎるので、地球上では他の力に負けて光の圧力の影響が現われないのです。

ところが宇宙空間では、光の圧力と思われる現象を見ることが

図 4-13 ● 彗星の尾は常に太陽と反対側の方向にできる



できます。たとえば彗星の尾は彗星が太陽に近づくと次第に長くなり、図 4-13 のように常に太陽と反対側に尾を引いています。このような彗星の尾は、彗星の核から噴き出したガスやチリが太陽光線の圧力を受けた結果だと考えられていました。実際は太陽光の圧力だけではなく、太陽風（144 ページ参照）と呼ばれる太陽から飛び出した粒子の流れの影響も受けていることがわかっていますが、昔の人は光の圧力と考えていました。

光が圧力を及ぼすことはマクスウェルの電磁理論（88 ページ参照）からも導かれていましたが、実験が困難なために長い間確かめることができず、ようやく 1899 年になってロシアの物理学者レヴェデフが、次いで 1901 年にはアメリカの物理学者ニコルスとハルが実験で証明しました。

夏目漱石の小説『三四郎』（1908 年、朝日新聞に連載）には、理科大学（東京帝国大学）で野々宮さんが雲母（マイカ）でつくった薄い円盤を水晶の糸で吊るして真空の中に置き、この円盤にアーク灯の強い光を当てると円盤が動くかどうか、という実験を行なっているシーンがあります。これはニコルスが行なった実験をモデルにしたもので、この論文を読んでいた寺田寅彦が夏目漱石に話したのをさっそく『三四郎』に引用したものだといわれます。

光を粒子（光子）と考えると、粒子が当たったために圧力を感じるということは何となく理解できます。しかし光子は質量がゼロと考えられています。質量がゼロの粒子が当たって圧力を及ぼすと考えるのはどうみてもおかしい気がします。

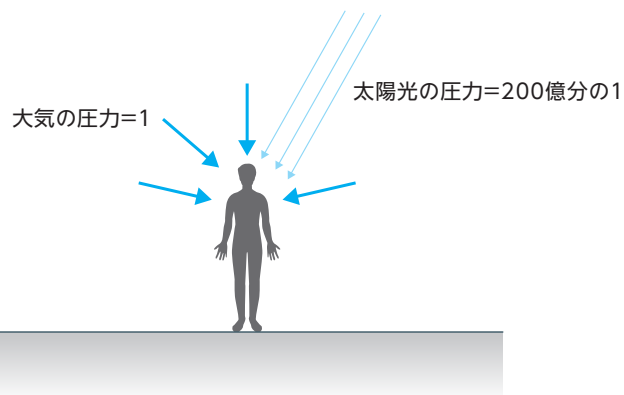
これを説明するのは難しいのですが、簡単にいうと光も電磁波

であり、前に述べたように“波と粒子の二重性”という性質をもっています。したがって光子も電磁波の特徴である電界と磁界の振動であると考えることができます。そのような電磁波である光が物体に当たると、物体中の電子は電界と磁界からローレンツ力と呼ばれる力を受けます。この力は電磁波の進行方向と同じなので、1つ1つの電子が受けるローレンツ力が重なって光の圧力となるのです。

太陽光の圧力そのものはきわめて弱く、地上では大気の圧力の200億分の1くらいしかありません（図4-14）。そのため重力や空気の抵抗、摩擦などにじゃまされて、光の圧力で物体が動くなどということは起こりません。しかし、空気がなく、惑星などの重力の影響を受けないような宇宙空間では、太陽光の圧力を積極的に利用することが可能です。

2005年に小惑星「イトカワ」に着陸した宇宙探査機「はやぶさ」は、数々のトラブルに見舞われながら小惑星の砂を採取して

図4-14 ● 太陽光の圧力は大気の圧力の200億分の1



何とか地球に帰還でき、話題になりました。「はやぶさ」は太陽電池で必要な電力を得ているので、太陽電池パネルを常に太陽の方向に向けておく必要があります（探査機の姿勢制御）。この制御には搭載した燃料を使って行なうのがふつうですが、「はやぶさ」はトラブル続きで燃料がきわめて不足していたため、太陽光の圧力を利用することにしました。そして面積の広い太陽電池パネルが受ける太陽光の圧力を利用して探査機を少しずつ回転させ、無事にパネル面を太陽の方向に向けることができました。これで燃料をかなり節約でき、窮地を脱して地球まで無事帰還できたということです。

さらに JAXA（宇宙航空研究開発機構） は、2010年に光の圧力を利用する実験用宇宙探査機「IKAROS（イカロス）」を打ち上げています。厚さ7.5  $\mu\text{m}$ の薄いポリイミド樹脂膜にアルミニウムを蒸着した14m四方の正方形の帆を探査機に取り付けて、太陽光の圧力で帆船のように推進するものです。圧力が弱いといってバカにすることはできません。何日も何カ月も太陽光の圧力を受け続けていれば、“チリも積もれば山となる”で相当の推進エネルギーを受け取ることができ、宇宙探査機を加速できます。これで燃料をかなり節約できると期待されています。