

1-1

# 電子レンジで使う「マイクロ波」は電磁波の一種

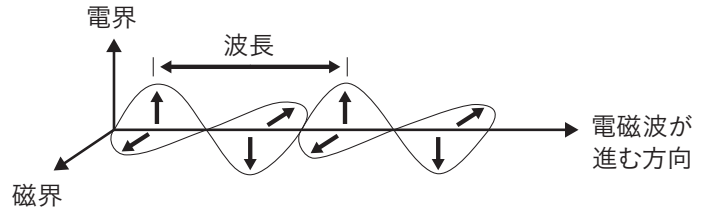


図1-1 電磁波のイメージ

電子レンジの仕組みを理解するためには、まず「電磁波」について知っておく必要があります。遠回りのようですが、じっくりお付き合いください。

電磁波とは、「電界」と「磁界」が交互に振動しながら空間を伝わっていく波のことで、電界・磁界はそれぞれ電場・磁場とも呼ばれます。電界と磁界はちょっと難しいですが、

- ・電界があると電気が動く
- ・磁界があると磁石が動く

と、とりあえずは思ってください。

さてこの電磁波、真空中を秒速約 30 万 km というすごい速さで進みます。あれ？ これって光の速さじゃない？ と思った方は鋭いですね。その通りです。私たちが目にしている光もまた、電磁波の一種なのです。

電磁波のイメージを表す図 1-1 を見てください。電界と磁界がニョロツとした波の形をしていて、それが繰り返されています。ここで「波長」と「振動数」という言葉を覚えてください。波長とは、図 1-1 に示したように、ニョロニョロした波の山から山までの長さのことで、振動数とは、1 秒間に発生する山の個数のことです。

一般的に、波の速さ  $c$  と波長  $\lambda$ 、振動数  $\nu$  の間には、

$$c = \nu \cdot \lambda$$

という関係が成り立つので、電磁波の中でも波長が長いものは振動数が小さく、波長が短いものは振動数が大きくなります。そして波長の範囲に応じて名前がついていて、性質もいろいろ異なります。図 1-2 にまとめたので、見てみてください。私たちの目に見える電磁波は「可視光線」といいますが、それより波長が長い電磁波には赤外線・電波、波長が短い電磁波には紫外線・X 線・γ 線と名前がついています。

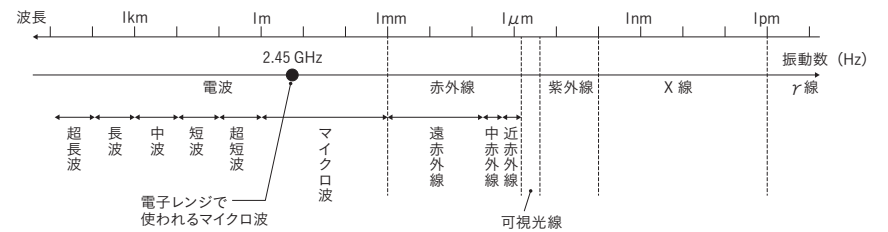


図1-2 電磁波の波長と名称

## 1-2

# 温度とは原子・分子のランダム運動の激しさを表す指標

図1-2のような電磁波の中で、電子レンジで用いられるのは、振動数が2.45 GHz (波長 12 cm 程度) の**マイクロ波**です。国際的に使用が許可されているISMバンドという振動数帯があり、その中の1つが、この2.45 GHzという振動数なのです。ちなみに同じ2.45 GHzのマイクロ波は、無線LANやBluetoothにも使われています。

この振動数の特性については後ほど説明しますね。

ちなみに、振動数のことを「**周波数**」ともいいます。調べ物をしていると両方の用語が出てきますが、同じ意味です。

「温かい」「冷たい」といった感覚の違いは温度という数値で表されますが、実はこの温度には物理学的な意味があります。それは、物体を構成する原子・分子の運動の激しさです。

原子・分子は静止しているわけではなく、常にランダムに動いており、この運動のことを「**熱運動**」といいます。気体の場合はかなり自由に空中を飛び回っている一方、固体の場合は微小な振動となっています。

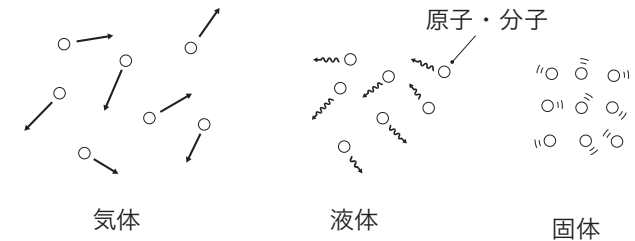


図1-3 熱運動のイメージ

この熱運動の動きが激しければ激しいほど温度が高く、熱運動の動きが乏しければ温度が低いというわけです。

温度を表す単位にはいくつか種類がありますが、物理学では「**絶対温度**」(単位:K)を用いるのが一般的です。絶対温度は、ふだん私たちが使う摂氏温度(単位:℃)と比べて、

# 白熱電球は加熱した フィラメントの熱を黒体放射で 光に変えている

白熱電球は、家庭用に限らず様々な用途の照明として長く親しまれてきた、とても古典的なタイプの電球です。19世紀の後半、トーマス・エジソンが京都の竹を利用して実用化したことでも有名ですね。

構造は単純で、電流を流して金属のフィラメント（金属の細い線）を加熱させ、その熱で光らせるという、いわば「赤くなるまで熱する」タイプの仕組みです。

でも……。「熱で光らせる」とは一体どういうことでしょうか？ 物理の視点からその仕組みを見ていきましょう！

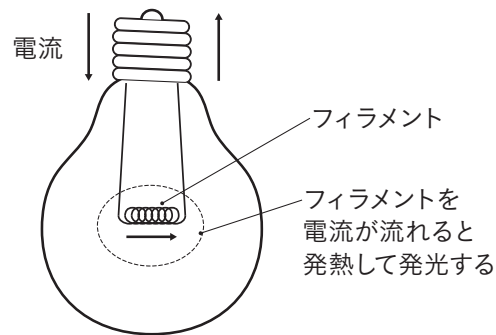


図2-1 白熱電球の構造図

## 電流がフィラメントに流れると「ジュール熱」で発熱する

まず、電球の中にあるフィラメントに電流を流すと、電気エネルギーが熱エネルギーに変わります。流れている電子がフィラメントの原子にガンガン衝突して、そのときに失うエネルギーが熱になるためです。電流によって発生する熱を「ジュール熱」といいます。

ジュール熱の量はジュールという単位で測られます。電圧を  $V$  [V]、フィラメントの抵抗を  $R$  [ $\Omega$ ] とし、通電時間を  $t$  [秒] とすると、ジュール熱の量  $Q$  [J] は次のような式で表されます。

$$Q = \frac{V^2}{R} t$$

家庭用電源の場合、電圧  $V$  の値は 100 V などと決まっているので、抵抗  $R$  が小さいほどジュール熱の量は大きくなりますが、抵抗をあまり小さくしすぎると過大な電流が流れて危険であったり、フィラメントが熱くなりすぎて寿命が短くなったりするといった問題があるため、フィラメントの抵抗はそれなりに大きな値にしてあります。

白熱電球のフィラメントの材質は、エジソンの頃は竹でしたが、1900年代になってからタングステンという金属になりました。タングステンの融点（固体が融ける温度）は金属の中で最も高く、約 3400 °C です。そのため、ジュール熱で高温になっても傷みにくいのです。

ちなみに白熱電球のフィラメントの一般的な温度は 2500 °C 前後なので、タングステンだと融けませんが、鉄（融点約 1500 °C）などのなじみのある金属はのきなみ融けてしまいます。

## 温度に応じた「黒体放射」で光が出る

フィラメントが高温になると目に見えて光り始めるのですが、そもそも、なぜ高温になると光るのでしょうか？ タングステンだからでしょうか？

それともフィラメントが細い形状だから？

いいえ、実はどんな物体でも、温度に応じて電磁波を放射するのです。この現象を「放射」（または熱放射）といいます。特に理想的な条件を考える場合、物理学では「**黒体放射**」<sup>こくたいほうしゃ</sup>といいます。

電磁波とは、電界と磁界が組み合わさって空間を伝わる波のことで、波長によって名前がついているのでしたね（11ページの図1-2参照）。白熱電球から出てくる光のように、目に見える光は「**可視光線**」<sup>ナノメートル</sup>といって、波長はおよそ**400～800 nm**ぐらいです。可視光線の波長が長いと赤、短いと紫に見えます。

黒体放射の原理は量子力学に基づいており、かなり難しいので、ここでは結果だけをご紹介します。

- ・温度が高くなると、全体的に波長の短い電磁波がたくさん出る（**ウィーンの変位則**）
- ・温度が高くなると、放射される電磁波のエネルギーが多くなる（**シュテファン = ボルツマンの法則**）

黒体放射のスペクトル（放射される電磁波の波長とエネルギーの関係）は、理論の提唱者の名前をとって「**プランクの法則**」と呼ばれています。グラフにすると図2-2のように、温度によってエネルギーのピークにあたる波長が異なることがわかります。

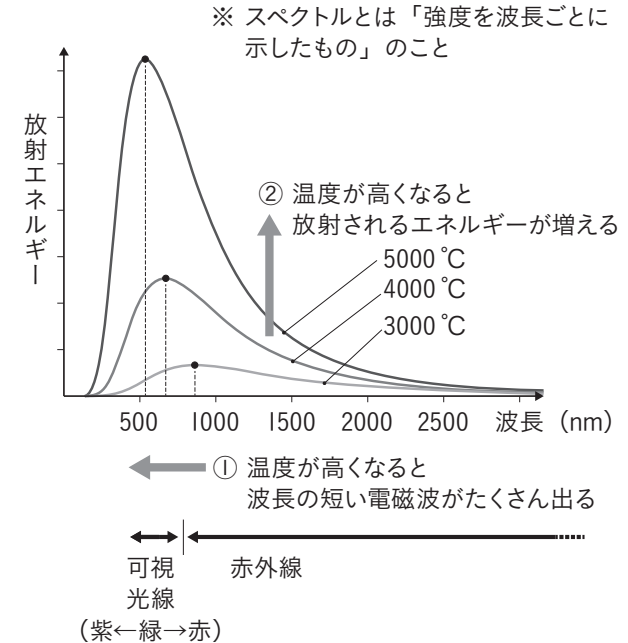


図2-2 温度ごとの黒体放射のスペクトル

図2-2には、ウィーンの変位則とシュテファン = ボルツマンの法則がしっかり現れています。

まずウィーンの変位則から確認していきましょう。図2-2から分かるように、放射エネルギーがピークになる波長は、3000 °Cでは900 nmぐらいですが、4000 °Cでは700 nmぐらい、5000 °Cでは550 nmぐらい、というように、温度の上昇とともに短くなっています。

また、シュテファン = ボルツマンの法則も見れば明らかですね。温度が高くなるほど、グラフの縦軸の値が急激に大きくなっていることがわかります。

この関係があらゆる温度範囲で成り立っているので、あらゆる物体から温度に応じた電磁波が放射されることになります。

たとえば人体ぐらいの温度（30 °Cぐらい）だと、主に波長の長い**赤外線**（遠

# GPS では相対性理論が登場!

ここまでの話で、GPS は「電波が届くまでの時間」から距離を計算していることを説明しました。また、高精度クォーツ時計では 1 日に 0.01 秒しかズレませんが、そのズレは距離にすると 1 日に 3000 km もの狂いに相当することが分かりました。

このように GPS による位置決めにおいては、時間が少しでも狂うと、とんでもなく距離の計算がズレてしまうわけです。

だからこそ衛星に搭載されている原子時計の精度はとても重要なのですが、実はその正確な時計にすら思いがけない落とし穴があるのです。

それが「相対性理論」です。

## 高速で動くと時間がゆっくり流れる (特殊相対性理論)

アルベルト・アインシュタインが作り上げた相対性理論 (以下「相対論」と呼びます) には「特殊相対論」と「一般相対論」の 2 種類がありますが、まずは特殊相対論の効果から説明します。

この理論によると、高速で運動する物体では、静止している人から見ると「時間がゆっくり進む」のです。目の錯覚とかではなく、実際に「時がゆっくり流れる」んですよ。たとえばセミは寿命が 1 週間程度しかありませんが、光に近い速さで飛ぶロケットの中にセミがいると、地球で 1 週間経過しても、セミはまだ生きています。このように「地球から見ると、このロケットの中は時間

の進みがゆっくりになっている」のです。これは「ウラシマ効果」と呼ばれて、SF やマンガによく登場します。

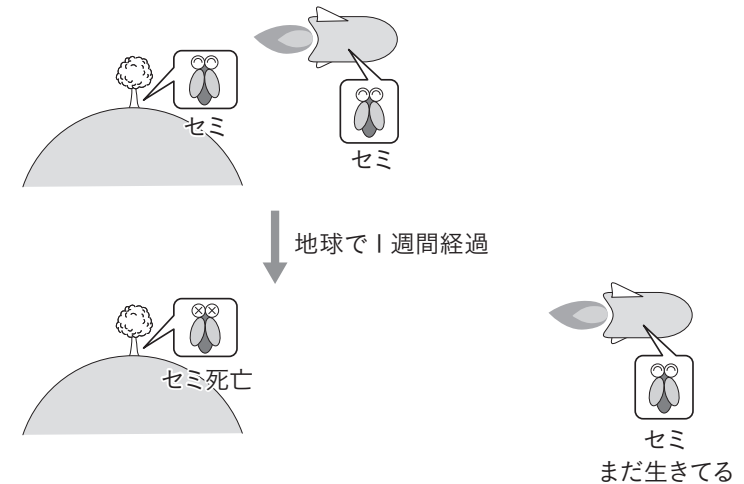


図12-2 ウラシマ効果により、ロケットの中の時間は地球より遅く流れる

GPS 衛星は、地上からおよそ 2 万 km 上空を秒速 4 km ほどで飛んでいます。これは光速 (秒速 30 万 km) に比べればずっと遅いですが、それでも特殊相対論的な効果が無視できません。

計算すると、衛星の時計は 1 日あたりおよそ 7 マイクロ秒だけ、地球の時計よりも遅れます。7 マイクロ秒というのは百万分の 7 秒です。なんだ! ほとんど遅れないじゃないか! と思われそうですが、

$$\begin{aligned} \text{光が進む距離} &= 30 \text{ 万 km / 秒} \times \frac{7}{100 \text{ 万}} \text{ 秒} \\ &= 2.1 \text{ km} \end{aligned}$$

と計算されるので、もし補正をしなければ、毎日約 2 km ずつ位置が狂っていくことになります。これはまったく無視できませんね。