

# 第1章

## テラヘルツ波で見えるもの



1-1

# テラヘルツ波とは何か？

テラヘルツ波とは何か？ということを知るためには、電磁波とは何か？ということを知る必要がある。我々の身近で利用されている電磁波としてすぐに思い出すのは携帯電話に使われている電波、テレビのリモコンに使われている赤外線、電子レンジに使われているマイクロ波、発光ダイオード（Light emitting diode：LED）やレーザーから放射される光波なども電磁波の一種である。病院などで検査に使われているエックス線、肌の日焼けを引き起こす紫外線なども電磁波の一種である。

ちょっと考えただけでも、今日、社会のあらゆる場面において電磁波が利用されていることに気づかされる。電磁波は波長の短いものから長いものまで様々なものが存在している。図1.1に電磁波の種類をまとめた。波長の短い方から波長の長い方に向かって、大まかにガンマ線、エックス線、紫外線、可視光線、近赤外線、中赤外線、遠赤外線、ミリ波、マイクロ波のように並んでいる。これらはすべて電磁波であり、その性質の違いは波長の長さの違いからくる。我々の眼に見える紫から赤の可視光線は、電磁波のほんの一部であり、約400~800ナノメートル（ $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ 、100万分の1ミリメートル）の波長を持っている。

電磁波は波の性質を持っており、波を特徴づける量として、波長、振幅、周波数、位相などがある。図1.2に典型的な波の例を示した。波の最も高い部分を山、最も低い部分を谷と呼ぶ。山から山までの距離を波長という。山が単位時間に進む距離を波の速さという。波の速さを $v$ （cm/秒）、周期を $T$ （秒）、波長を $\lambda$ （cm）、周波数を $f$ （Hz：ヘルツ）とすると、波は1周期の間に1波長の距離を進むから $vT = \lambda$ が成り立つ。

この本の主題であるテラヘルツ（THz）波は電波と光の境界領域にあり、厳密な定義はないが、およそ0.1~10THz（テラヘルツ：1兆ヘルツ）の周波数の電磁波をテラヘルツ領域と呼ぶことが多い。赤外分光で使わ

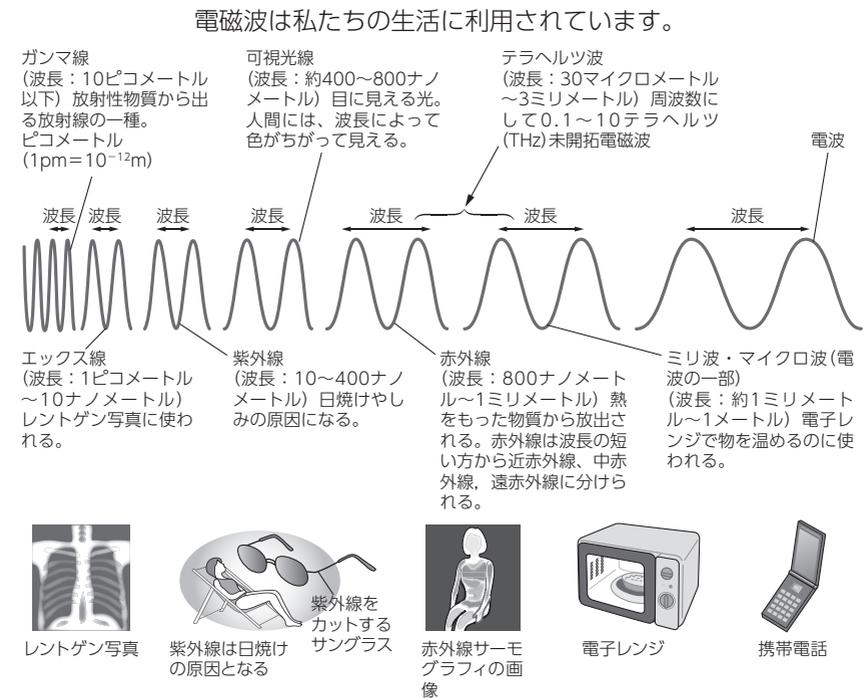


図1.1 電磁波の種類

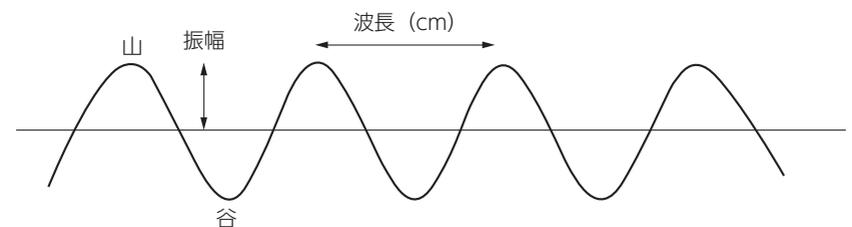


図1.2 波の要素

れている波数（ $\text{cm}^{-1}$ ）で表すと $3.3\sim 333\text{cm}^{-1}$ となる。テラヘルツ領域は、従来の遠赤外線からミリ波にかけての電磁波領域と重なっている。波長にして30マイクロメートル（ $\mu\text{m}$ ）から3ミリメートル（mm）の領域になる。このテラヘルツ領域の電磁波の研究開発は、近年まで遅れてお

り未開拓の電磁波と呼ばれてきた。最近、この領域の電磁波の発生・検出技術の研究開発が急速に進展しており、テラヘルツ波を用いて物理、化学、生物などの基礎科学分野への応用はもとより、産業分野への応用が見えてきている。

#### 単位について

※後に出てくる温度の単位のケルビン (K) は絶対温度 ( $K = ^\circ\text{C} + 273$ ) を表す。

※1 テラヘルツ ( $1\text{THz} = 33.3\text{cm}^{-1}$ 、 $(\text{cm}^{-1})$  は波数を表し波長  $\lambda$  (cm) を用いて  $1/\lambda$  で定義される。

## 1-2

### 物質を透過するテラヘルツ波

次に、テラヘルツ波の性質について紹介していこう。テラヘルツ波の性質を、学生や産業分野で活躍されている技術者の方々に知ってもらうことは、今後、このテラヘルツ波を使った応用分野を拡大していく上で大変重要な意義があると言える。これまでの研究から、テラヘルツ波の主な性質として、金属以外のいろいろな物質に対して比較的透過しやすいことがわかってきている。しかし、透過しやすいからエックス線と同じように何でも透過して見ることができると早合点しないでほしい。物質に対する透過性は、物質とテラヘルツ波の相互作用によって物理的に決定されている。物質中のテラヘルツ波の振る舞いは、テラヘルツ波の波長（または周波数）に対する物質の屈折率の大きさで決まってくる。また、もう一つの性質として、テラヘルツ波の周波数は、物質を構成する分子の振動数とほぼ一致することから様々な分子の性質を調べることができる。このように、テラヘルツ波の持つ透過性と物質の分子振動を調べることができるという性質を上手に利用すれば、電波やエックス線を用いてできなかった化学分析や非破壊検査に応用することができる。しかし、テラヘルツ波は「魔法の光」ではないのでテラヘルツ波の潜在的な能力を正しく理解した上で利用しなければならない。

上記のような性質を持つテラヘルツ波であるが、半導体製造技術やレーザー技術の発展に伴って、テラヘルツ波を発生させたり、検出したりする研究が我が国や欧米を中心に急速に進展している。さらに、このテラヘルツ波を利用してこれまでにないような基礎科学研究や産業応用の試みも進んできている。テラヘルツ波は、プラスチック、セラミック、シリコン（ケイ素：Si）、衣類、木材、紙、タイルなどを比較的良く透過することが知られている。我々が日常生活で不透明に見えるものでもテラヘルツ波を良く透過させるものが多い。日常生活で我々が覗き