



# 光マップ

## THE LIGHT MAP

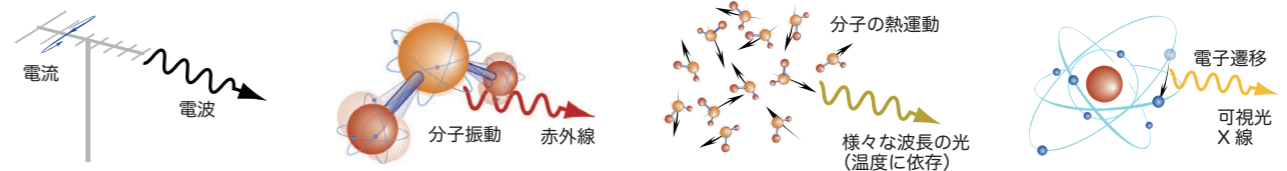
光は、自然界にいつも存在していて、あらゆる植物や生物、人間の生命と営みを支えています。太陽からの光は、地球上に温度をもたらす、植物の光合成のエネルギーとなります。蛍光灯やランプは私たちの生活を明るく照らします。レーザーは材料を加工したり、手術や治療をします。

ラジオやテレビや携帯電話の信号を送る電波、電子レンジで使われるマイクロ波、電気ごたつや電熱線で加熱に用いる赤外線、日焼けや殺菌作用がある紫外線、レントゲン写真に用いるX線や、原子崩壊のときに発生するγ線などすべて、光のなかにあります。

この光マップは、光が自然界や私たちの生活の中でどのようにつくられ、どのように使われているかをまとめたものです。

### 光の起源

光はどこで生まれるのでしょうか。光子（フォトン）は電子が加速度を持って動くことによって生まれます。アンテナの中で電子が動くと、低い周波数の光である電波が出ます。複数の原子から構成されている分子の中で原子が互いに動く（分子振動）と、原子の中にある電子も一緒に動くので光が生まれます。その光は赤外線です。水や空気の温度が高くなると、水分子が激しく動き回り、電子も共に動くので光が出ます。温度と光の周波数は対応します。分子の振動はランダムですので、熱が発する光（黒体放射）は単色の光ではなく様々な周波数の光が出ます。原子の周りを回る電子が別の軌道に移ると（電子遷移）、光が出ます。これは振動数の高い可視光です。原子の内殻の電子が遷移するとX線が生まれます。

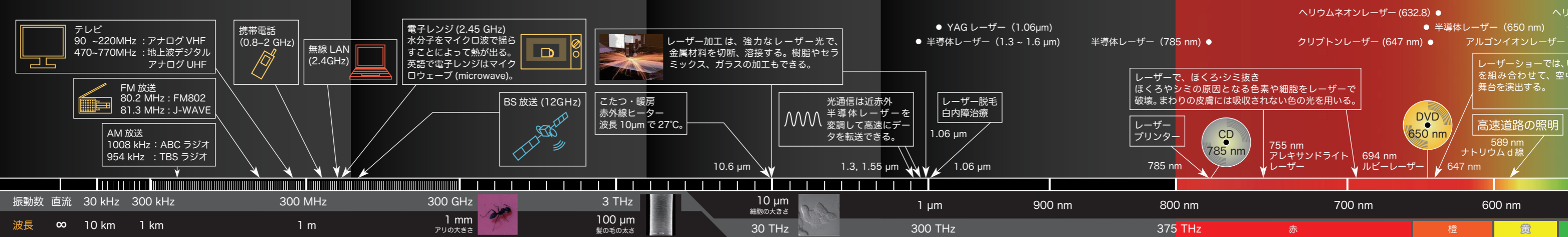


### 波としての光

光は空間を横波です。進行方向に垂直な方向に振動します。振動数は1秒間の振動の回数（単色光の場合は波長）で表されます。振動数と波長のかけ算は光の速度（約300億km/s）で一定です。

### 粒としての光

光の強度が大きいほど、光子の数が多くなります。ちょうど、電流が大きいほど、電流が流れる回数（電流の強さ）に相当するエネルギーを運びます。



### 電波領域 (電波も光)

アンテナで送受信

ラジオコンは、電波 (radio wave) でコントロール。

ICカード 電車で乗るのもラク。

レーダー 電波を照射して反射波を検出し、飛行機の位置を捕捉したり、降雨や降雪を観測する。ステルス戦闘機は奇抜な外形や電波吸収材料で電波の反射を抑える。

NMR / MRI (核磁気共鳴) 磁場と電波を使って体の輪郭に見せる。脳梗塞などの早期発見に有効。

速度取締りも、レーダーの原理。

### 波長の単位

1 km (キロメートル) = 10<sup>3</sup> m = 1,000 m  
 1 m (メートル) = 1,000 mm  
 1 mm (ミリメートル) = 10<sup>-3</sup> m = 0.001 m  
 1 μm (マイクロメートル) = 10<sup>-6</sup> m = 0.000001 m = 1/1000 mm  
 1 nm (ナノメートル) = 10<sup>-9</sup> m = 0.000000001 m = 1/100万 mm  
 1 pm (ピコメートル) = 10<sup>-12</sup> m = 0.000000000001 m = 1/10 億 mm  
 1 fm (フェムトメートル) = 10<sup>-15</sup> m = 1/1,000 pm  
 1 am (アトメートル) = 10<sup>-18</sup> m = 1/1,000,000 pm

### 振動数の単位

1 Hz (ヘルツ) = 1秒間に1回振動  
 1 kHz (キロヘルツ) = 10<sup>3</sup> Hz = 1,000 Hz = 1秒間に1000回振動  
 1 MHz (メガヘルツ) = 10<sup>6</sup> Hz = 1,000,000 Hz = 1秒間に100万回振動  
 1 GHz (ギガヘルツ) = 10<sup>9</sup> Hz = 1,000,000,000 Hz = 1秒間に10億回振動  
 1 THz (テラヘルツ) = 10<sup>12</sup> Hz = 1,000,000,000,000 Hz = 1秒間に1兆回振動  
 1 PHz (ペタヘルツ) = 10<sup>15</sup> Hz = 1,000 THz  
 1 EHz (エクサヘルツ) = 10<sup>18</sup> Hz = 1,000,000 THz

### 遠赤外光

低温の黒体放射

電波望遠鏡 波長約1mmから1cmの電波を検出する望遠鏡。日本では野辺山宇宙電波観測所にある。温度が非常に低い星間ガスなどからの黒体放射を観測する。

テラヘルツ波 は様々な物質を透過し、X線に比べて人体への影響が少ないため、X線に代わる安全検査技術として期待されている。

二酸化炭素 (C=O基) : 4.3 μm  
 水・アルコール (O-H基) : 2.9 μm  
 メタン (C-H伸縮) : 3.3 μm  
 トルエン (ベンゼン環) : 6.7 μm

二酸化炭素の吸収スペクトル

すばる望遠鏡 ハワイ島にある日本の大型天体望遠鏡。可視光から中赤外光の光を使って宇宙を探る。直径8.2mの反射鏡は世界最大級。

気象衛星ひまわり 10 μm 付近 (大気窓) : 黒体放射から雲や地表温度を観測する。6~7 μm (水の吸収) : 水蒸気の分布を観測する。

自由電子レーザー (FEL) 紫外から赤外までの広範囲で波長を自由に選択して強力な光をつくる。高速の自由電子を磁場によって蛇行させて発生したシンクロトロン放射からレーザー光線をつくる。国内では大阪大学、東京理科大学などにある。

ハッブル宇宙望遠鏡は、近赤外光検出で63光年離れた惑星でメタンと水を見つけ、太陽系外で有機物が確認された。宇宙の他の星にも生物がいるかも！

### 中赤外光

分子振動・格子振動、有機分子が見える領域

有機分子の指紋領域 中赤外は分子の振動単位が豊富。有機分子の「指紋領域」と呼ばれる。

監視カメラ (ナイトビジョン) 近赤外光を照射し、カメラで検知する。目に見えない波長なので、暗闇でも相手に気付かれない。防犯のほか、軍事にも用いられる。

センサー・赤外線通信 (IrDA) 自動ドアやトイレ、照明用のセンサーや、テレビやステレオのリモコン、パソコンの通信にも近赤外光が使われる。

血糖値測定、果実糖度計 糖の分子の振動エネルギーが近赤外に相当する。果実を傷つけずに糖度を簡単に測ることができる。

赤外線温度計 / 体温計 赤外線の黒体放射から、非接触で温度を測定します。人の体温で波長約10μm。

光CT 脳の中の酸素濃度を断面画像として取得する。

白熱灯 (2,500℃) の黒体放射のピークは、1 μm 付近。

サーモグラフィ 赤外光の強度から温度を測定する。体温分布計測、軍事用に用いられる。

### 近赤外光

物質と相互作用しない、物質が透明な領域 (光通信に使われる)

血液の赤色はヘモグロビンの色。動脈は酸素を含んで鮮やかな赤色。静脈では黒っぽい色になる。波長800nmで入れかわる吸収率から、近赤外光を使って血中酸素濃度を計測することができる。

紅葉 アントシアン カロチノイド クロロフィル 秋になると、葉緑素のクロロフィルが分解されてカロチノイドの黄色に、その後、アントシアンがつくられて赤色に変わる。

3次元ナノ加工は、近赤外パルスレーザーを用いて、レーザー光の波長よりも遙かに小さい100nmの分解能で立体加工を実現。

細胞手術では、近赤外パルスレーザーを細胞内に集光して、細胞内部を加工、刺激する。

半導体量子ドット 直径数nmの半導体粒子で蛍光を発する。小さい粒子ほど短い波長で光る。

ルビーの赤は不純物のクロムの色。世界初のレーザーはルビーから出た光。

太陽電池は、電卓、腕時計、街路灯から人工衛星にまで使われる。光のエネルギーでクリーン発電。

白色をつくるには、が必要。テレビの画面、液晶の画素、CRTの画素

### 可視光

人間の目に見える光、外殻電子遷移エネルギー

火花の色は、金属元素の炎色反応の色。それぞれの元素に特有の色を出して燃える。

発光ダイオードは、発光効率の高い光源として、信号機、パイロットランプ、街のイルミネーションや街頭ビジョン、車のヘッドライト、光合成等、多目的に使用される。

太陽が黄色に見えるのは、500nm付近の黒体放射のため。表面温度は約6,000℃。

ホタルの発光の源はルシフェリン。熱をほとんど出さずに発光する。

光子ロケットは光の放射圧

光が物質の境界面で屈折や反射、散乱すると、物質に力がかかります。光の放射圧は、400年前に予言されたといわれています。天文学者のケプラーは彗星(ほうき星)の尾がいつも太陽と反対側に向いているのを見て、太陽からの光の圧力のせいだと考えました。ステイブン・チューらは光の放射圧で原子を冷却する技術を開発しノーベル賞を受賞しました。SF小説には放射圧で飛ぶ光子ロケットが出てきます。JAXAやアメリカでは実際にソーラーセイル宇宙船を研究しています。

### 油膜が色づくのは光の干渉

異なる方向から伝わってくる光が重なり合うと、互いに干渉し、強め合ったり弱め合ったりします。シャボン玉や水面に浮かぶ油膜が七色に見えますが、これは膜の表面と裏面とで反射した光が干渉するからです。立体像であるホログラム (1971年ノーベル賞) は、光の干渉を使ってつくります。干渉する光はコヒーレント (可干渉) であるといえます。レーザーはコヒーレントな光を出す装置です。

七色に光るシャボン玉

クレジットカードのホログラム

### 空の青色は光の散乱

光が小さな粒子 (分子) に当たると散乱します。波長の短い光は長い波長の光よりよく散乱します。空が青いのも夕焼けが赤いのも光の散乱の効果です。もとの光から色はずれて散乱する光があります。ラマン散乱といい、分子や結晶の振動エネルギーが光子に足算 (引き算) されるために生じます。この色のずれを計測して、半導体結晶の欠陥や分子の種類を分析する技術があります。

空の色は散乱された青い光

### 虹の七色は光の屈折

光が空気から水やガラスに入ると、曲がります。この現象を屈折といいます。屈折率は光の波長 (色) によって異なります。万有引力の法則で有名なニュートンはプリズムを使って太陽の光には様々な色が混ざっていることを発見しました。雨上がりの路地に虹が見えるのは空気中の水滴がプリズムとして太陽光を分光するからです。最先端の光科学には、負の屈折率の物質 (逆向きに光が曲がる) を人工的につくる研究が進んでいます。

折れたように見えるけど...

プリズムで屈折して色分けされた光

### 光は回折する

光の進路に障害物を置くと、光は障害物の裏側にも回り込んで伝わっていきます。細かい光線をつくらうとして細い穴に光を通して、すぐ広がってしまいます。光の回折を利用して光を選択することができます。細かい周期構造に光を照射すると、それぞれの構造で回折した光が干渉し、角度によって違う色が見えます。CDやDVDの表面が七色に見えるのは、記録ピットの列が回折格子として働くためです。タマシヤやチョウの羽、貝殻も、表面に周期構造があつて七色に見えます。このような回折で現れる色のことを構造色といえます。

モルフォ蝶と、羽の電子顕微鏡写真

七色に光るCDの表面

### 光子ロケットは光の放射圧

光が物質の境界面で屈折や反射、散乱すると、物質に力がかかります。光の放射圧は、400年前に予言されたといわれています。天文学者のケプラーは彗星(ほうき星)の尾がいつも太陽と反対側に向いているのを見て、太陽からの光の圧力のせいだと考えました。ステイブン・チューらは光の放射圧で原子を冷却する技術を開発しノーベル賞を受賞しました。SF小説には放射圧で飛ぶ光子ロケットが出てきます。JAXAやアメリカでは実際にソーラーセイル宇宙船を研究しています。

ハレー彗星の

アメリカで開発した光子ロケット

