



光は空間を「波」として伝わります。粗密波（縦波）の音波とは異なり、光は横波です。進行方向と直交する方向に電場と磁場が交流して振動する電磁波です。振動の回数（単位は Hz）、波長は1回振動する間に真空中を進む距離（単位は m）のかけ算は光が一秒間に進む距離、つまり速度を表します。真空中の光の速度は、なく一定です。

光の強度が非常に弱くなってくると、光が粒々であることが見えてきます。光の粒子を光子（フォトン）といいます。光は光子の粒々がたくさん集まってうら、電流が「電子」の流れの集まりで、水が「水分子」の集まりのように。は光子の密度で決まります。光子一つ一つは、光の色、つまり波長（あるいはエネルギー）を持っています。

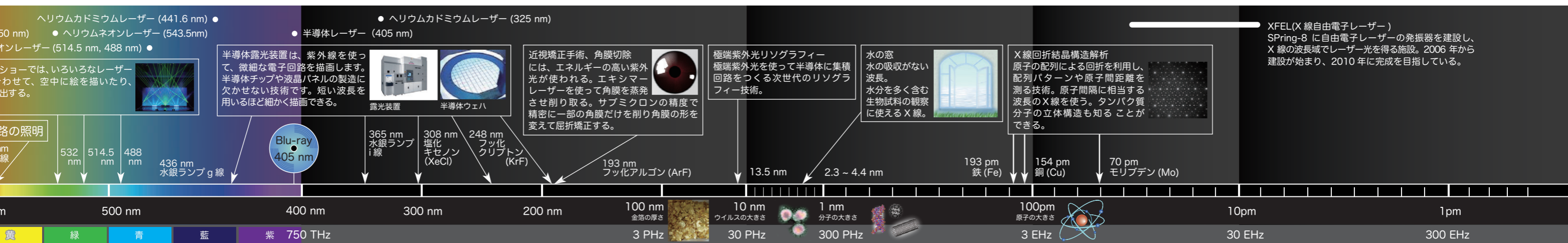
## 光に関連するノーベル賞

- 1901年 X線の発見 (W. レントゲン)
- 1907年 干渉計の考案と分光学の研究 (A. マイケルソン)
- 1908年 光の干渉を利用した天然色写真 (G. リップマン)
- 1909年 無線通信 (G. マルコーニ、C. F. ブラウン)
- 1914年 結晶によるX線回折 (M. フォン・ラウエ)
- 1915年 X線結晶解析 (W. H. ブラッグ、W. L. ブラッグ)
- 1918年 エネルギー量子説 (M. K. E. L. プランク)
- 1921年 光電効果の法則の発見 (A. アインシュタイン)
- 1923年 光電効果の研究 (R. A. ミリカン)

- 1924年 X線分光学 (K. M. G. シーグバーン)
- 1927年 コンプトン効果の発見 (A. H. コンプトン)
- 1930年 ラマン効果の発見 (C. V. ラマン)
- 1932年 量子力学の創始 (W. K. ハイゼンベルグ)
- 1936年 X線、電子線回折による分子構造の研究 (P. J. W. デバイ) (化学賞)
- 1953年 位相差顕微鏡の発明 (F. ヴェルニケ)
- 1954年 波動関数の統計的解釈の提唱 (M. ボルン)
- 1954年 原子核反応とγ線に関する研究 (W. ボーテ)
- 1958年 チェレンコフ効果の発見 (P. A. チェレンコフ、I. M. フランク、I. E. タム)

- 1961年 γ線の共鳴吸収とメスバウアー効果の発見 (R. L. メスバウアー)
- 1964年 メーザー、レーザーの発明 (C. H. タウンズ、N. G. バソフ、A. M. プロホロフ)
- 1964年 X線回折法による生体物質の分子構造の研究 (D. M. ホジキン) (化学賞)
- 1965年 量子電磁力学 (朝永振一郎、J. シュウィンガー、R. P. ファインマン)
- 1966年 光ポンピング法による原子の励起 (A. カスレ)
- 1971年 ホログラフィーの発明 (D. ガボア)
- 1974年 電波天文学における先駆的研究 (M. ライル)
- 1979年 X線CT(G. N. ハウンズフィールド、A. M. コーマック)(生物・医学賞)
- 1981年 レーザー分光学 (N. ブルムバークン、A. L. ショーロー)
- 1981年 高分解能光電子分光法 (K. M. シーグバーン)

- 1997年 レーザークーリング法の開発 (S. チュー、C. コーエンタマージ、W. D. フィリップス)
- 1999年 フェムト秒化学 (A. H. スウェイル) (化学賞)
- 2000年 高速/光電子技術のための半導体ヘテロ構造の開発 (Z. I. アルフォーロフ、H. クレーマー)
- 2002年 宇宙ニュートリノ検出 (R. デービス Jr.、小柴昌俊)
- 2002年 タンパクのレーザーイオン化法 (J. B. フェン、田中耕一) (化学賞)
- 2003年 核磁気共鳴画像化法 (P. ラウターバー、P. マンスフィールド) (生物・医学賞)
- 2005年 光コヒーレンスの量子理論 (R. J. グラウバー)
- 2005年 光周波数コム技術などレーザー精密分光法の開発 (J. L. ホール、T. W. ヘンシュ)



## 電子遷移エネルギー

**Ba Cu**

光學顕微鏡は微小な物体を拡大して観察できる。物体の反射率や光吸収、蛍光発光の分布をもとに観察像をつくる。分子の振動や偏光特性を観察する顕微鏡もある。紫外から近赤外の広い波長範囲の光が使われる。

動物の目には2色から4色を見分けるセンサーがあり、それらに入る光のバランスで色を認識する。人間は、550nmの波長を、最も明るく感じる。

昆虫の可視域ミツバチの可視域は紫外から黄色の光まで。人間には見えない花の模様が見える。

ブラックランプの発する紫外線は目に見えないが、周りの物質を発光させる。

地球上の生物に害のある紫外線を遮ってくれる。

酸化チタン

SPring-8

兵庫県佐用郡にある大型の放射光施設。X線から赤外線まで広い波長範囲で世界最高輝度の光をつくる。周長 1.4 km の蓄積リングと呼ばれる軌道に電子を閉じ込め、光速近くまで加速した電子からのシンクロトロン放射でX線を得る。

## 紫外光

目に見えない光、外殻電子遷移エネルギー

誘虫灯で昆虫を引き寄せ、電気ショックで駆除する。紫外線は昆虫の可視域。

真空紫外 200nm~10nmの紫外線は大気の中を伝わらない。太陽からの真空紫外線は、地表まで到達しない。微小加工などの応用が期待されている光だが、真空環境が必要。

eV (エレクトロンボルト) 光のエネルギーを表す単位に eV がある。波長 1μm の光は 1.24eV に相当する。光の波長とエネルギーは反比例し、波長 100nm の光は 12.4eV、波長 1nm では 1.24 keV(1240 eV) と、波長が短いほど高いエネルギーを持つ。

アト秒レーザー アト秒 (atto) は 0.000000000000000001 秒 (0 が 18 個)。そんな一瞬しか光らないパルスレーザー。このレーザーを使えば、電子が止まって見える。100アト秒では光はたった 30 nm しか進めない。真空紫外線や軟 X 線の光でつくられる。

## 軟 X 線 (極短紫外を含む)

内殻電子遷移エネルギー、水に吸収されない

レーザープラズマ光源 高出力のレーザー光をターゲットに当てて発生するプラズマから軟 X 線を出す。未来の半導体製造光源。

軟 X 線顕微鏡 「水の窓」を使えば、高い空間分解能で生物試料を生きたまま観察できる。軟 X 線は大気をほとんど伝わらないので、装置を真空中に置く。

X 線のレンズ 軟 X 線や X 線の領域では、ガラスも金属も屈折率がほぼ 1.0 で、反射も屈折もしない。浅い角度の反射で X 線の進行方向を変えて集光する。

ウォルター鏡

ゾーンプレートで X 線を回折して集光する方法もある。

フレネルゾーンプレート

反射には、Mo/Si や Cr/Sc などの多層膜が用いられる。

静電気除去 空気中の分子を分解してイオンを発生し、基板の帯電を除去する。

## X 線

内殻電子遷移エネルギー

レントゲン写真 からだが透けて見える。X 線が透過しにくい骨が影となって映る。胃を見るときはバリウム(造影剤)を飲む。空港の手荷物検査も X 線。

X 線 CT (コンピュータ断層撮影) 様々な方向で X 線を照射して測定した透過強度から、コンピュータ解析によって断層像を取得する。

X 線天文学 宇宙に広がる X 線は大気層で吸収されるため、望遠鏡を搭載した衛星を宇宙まで飛ばして観測する。

XPS(X 線光電子分光) X 線を試料に当てて出る光電子から、半導体の構成元素や電子状態を分析する。

## γ 線

原子核・素粒子の遷移エネルギー

PET (ポジトロン断層法) 放射性分子をマーカーにした新しいがん検診技術。

γ 線バースト 太陽系外からやってくる原因不明の突発的なガンマ線。

強い放射線 強力な X 線や γ 線は人体に致命的な障害をもたらす。

放射線治療 弱い放射線を使えばがん細胞を退治できる。

γ 線滅菌 弱い γ 線なら医療器具などの滅菌にも使える。じゃがいもの発芽防止にも γ 線を照射する。

## 光は横波

水面や金属の表面、照葉樹の葉の表面で反射すると、電場が反射面に垂直な方向に揺れている光がよく反射され、光の揺れる方向に偏りが生じます。これを偏光といいます。

偏光フィルターは、特定の方向に揺れる光だけをカットします。偏光メガネやカメラのフィルターに使われます。テレビやパソコンの液晶ディスプレイは偏光を利用して表示装置です。電圧で液晶分子の向きをそろえ、光の透過を偏光制御します。

## 光の速度は

真空中で1秒間に30万 km。これは1秒間に地球を7周半回ることができる速さです。月までは1.3秒、太陽までは8.3分かかります。光の速さで1年かかる距離を1光年といいます。太陽から最も近い恒星は4.2光年の距離にあり、銀河系の直径は10万光年です。夜空には数多くの星が見えますが、この光は何年も何十年も昔に星を出た光です。真空中の光の速さは、電波も可視光もX線も同じです。また、この速度を超えることは不可能とされています。しかし、速度を遅くすることはできます。屈折率の高いプラスチックやガラスの中の光の速さは、真空中に比べて1.33分の1、1.5分の1になります。最近では、**フォトニック結晶**や**ブラズモンデバイス**(金属薄膜)で、速度がとて遅い**スローフォトン**をつくり出す研究が進んでいます。

## 太陽の七変化

太陽の色は、黄色がかった白色に見えます。太陽の黒体放射で発生した様々な色の光が混ざっているからです。しかし日の出、日の入りの太陽は赤く見えます。陽が傾くと光が大気を通る距離が増え、短波長の光がチリや水滴に散乱されて届かなくなるからです。日没の時、一瞬だけ赤から緑色に見ることがあります。**グリーンフラッシュ**と呼ばれる現象です。太陽が完全に沈んだ瞬間、地球の大気層のプリズム効果で太陽光が屈折し、緑色の光だけが届いて見えます。空気が澄んで地平線や水平線が見える場所であまに見る珍しい現象です。

## 色の見え方

人間は 600 万~1,000 万色を識別できるとされていますが、目の中には、赤、緑、青のセンサーしかありません(犬、猫は2色、鳥は4色)。このセンサーに入る光のバランスで色を認識しています。たとえば、赤と緑の光が同時に目に入ると黄色に、すべての色が混ざると白く見えます。この3色は**光の3原色**といい、テレビ等の発色に使われます。絵の具やインクは光を吸収して色をつくります。赤の絵の具は赤色以外の光を吸収し、赤色の光だけを反射します。シアン(Cyan)、マゼンタ(Magenta)、黄色(Yellow)の3色**(色の3原色)**を使えば様々な色をつくることができ、印刷物はこれに黒を組み合わせてつくります。

光の3原色

色の3原色

