

ご存知ですよね「ヤングの干渉縞」

光波の干渉は光を利用する上で、必要不可欠な現象です。中でも、ヤングの干渉実験は二光波干渉の最初に登場する実験です。本稿では、みんな知っているヤングの干渉実験について、普段と少し違った観点で考察します。

「単色点光源から……」で始まる説明はともかくとして、ここでは簡単のために、小さな孔（ピンホール）が2個あけられたスクリーンに一様にレーザー光を照射した状態を考えましょう。また、十分遠くの観測面を考える代わりに単レンズを用いて、その焦点面を観測面と考えましょう。考える光学系を図1に示します。2つのピンホールを通過した光は、それぞれ球面波となって伝搬し、レンズの焦点面で干渉縞を発生します。この縞が、ヤングの干渉縞です。空間的に離れた光波をレンズの集光作用で、空間的に同じ点に集めて干渉させているようにみえます。ピンホールを出て光軸に平行に進む光（空間周波数ゼロの成分）はレンズの焦点面の原点に集光されます。光軸に対して一定角度をもって平行に進行する光線群（同じ空間周波数の成分）はレンズ焦点面の同じところに集まります。つまり、レンズ入射前に同一の方向に伝搬していた光線群（同一空間周波数成分）が、観測面の同じ場所に集光されることとなります。したがって、観測面での光強

度の空間分布は、それぞれの場所に対応した空間周波数成分をもった光線の干渉結果となります。これが、レンズのフーリエ変換作用です。レンズのフーリエ変換作用を利用して、ピンホールからの球面波の空間周波数成分ごとの干渉結果を観測面で得ているのがヤングの干渉縞と考えられます。したがって、ピンホール面は空間領域、観測面は空間周波数領域です。空間領域で与えた関数を空間周波数ごとに重ね合わせた（積分した）結果が、空間周波数を引数にした関数に変換されています。各ピンホールを通過した光線は、各ピンホールの位置の違いから、幾何学的に生じる位相差をもっており、観測面では干渉縞が発生します。得られる干渉縞の間隔は、スクリーン面のピンホール間隔に反比例します。干渉縞の包絡線の広がりも、ピンホールの直径に反比例します。ヤングの干渉縞は、入力関数のフーリエ変換のパワーそのものです。得られる干渉縞は、ダブルピンホールの相対的な位置関係にのみ関係し、スクリーン面上の絶対位置に関係しないことも特徴のひとつです。

つぎに、超短パルス光のお話をいたします。近年の超短パルス光発生技術の進展には目をみはるものがあります。今や、50 fs ( $\times 10^{-15}$  s) クラスの超短パルス光は、プラグをコンセントに突っ込んで、ス

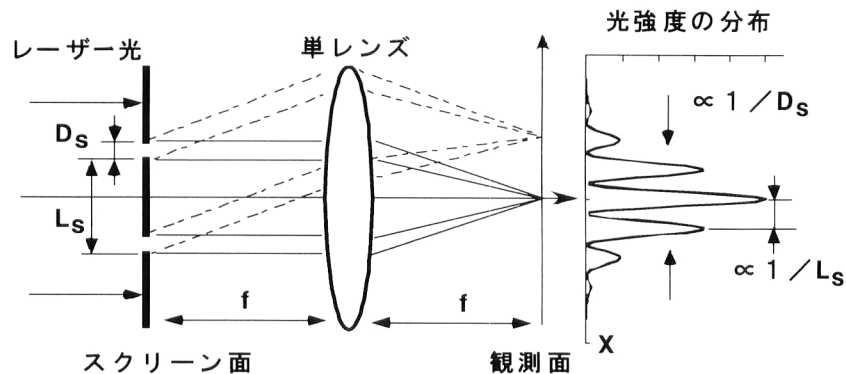


図1 ヤング縞発生。

イッチオンするだけで得られます。超短パルス光は非常に限られた時間に波を押し込んでいる光です。先ほどのピンホールの話に戻ると、ピンホールに一樣レーザー光を照射したとき、ピンホールの出射面では非常に限られた空間の光波だけが出てくる状態が想像できます。時間・空間の差こそあれ、縁もゆかりもない現象とも思われません。

レーザーから出射した超短パルス光を2本に分け、その後、パルスが時間的に重ならないように同軸伝搬するように重ね合わせると、時間差をもったダブルパルスが得られます。ヤングの干渉実験におけるピンホール対の時間領域編です。このダブルパルスのフーリエ変換を考えましょう。時間領域のフーリエ変換は、分光計で実現できます。単純に考えると、光波を回折格子に入射するとフーリエ変換が実行できると考えられます。回折格子の分光作用（フーリエ変換）は、干渉作用の結果、ある反射方向には特定波長成分のみが強められることに起因しています。このため、回折格子では格子周期に比して十分広い範囲に光波を入射させる必要があります。2つの超短パルスで構成されたダブルパルスを回折格子に入射した状態を図2に示します。回折格子で回折され、ある方向に伝搬する、特定周波数（波長）の光波を考えます。入射パルスは広い領域に照射されますので、入射位置によって、回折格子への到着時間に差が生じます。また、出射方向によっても幾何学的関係により時間差が発生します。結果として、時間的に分離されていた両パルスは、時間的に重なる部分が生じます。つまり、時間的に分離していた超短パルスは、回折格子を用いると、各回折方向（周波数成分）ごとに、時間的に重なり合い、干渉することになります。これは、時間関数のフーリエ変換像は、周波数の関数となり、絶対時間の引数を含まないことに対応すると思われま。特定周波数ごとに分解された2つの超短パルス光は、時間的

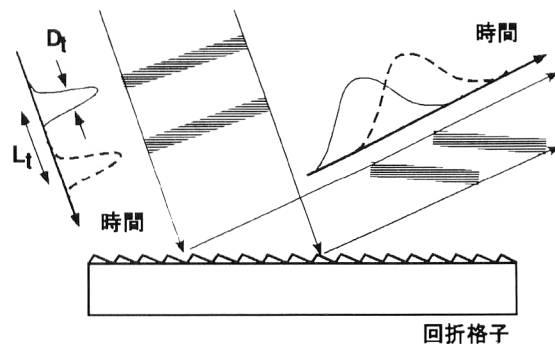


図2 回折格子で発生する超生光学系。

な重なりのおかげで、各周波数成分ごとに干渉できることとなります。空間的フーリエ変換の場合も、空間的に分離された光波が、同一空間周波数成分同士は同じ点に集光され干渉するのと同様にしています。

#### 短パルス光の重なり原理

前のパルスと後ろのパルス間の同一周波数成分間での干渉を考えましょう。同一周波数をもつ2つの波は、ダブルパルスの時間間隔相当分だけ位相差をもっています。この位相差が、半波長の偶数倍か、奇数倍かで、2つの光波は同位相または逆位相となります。つまり、観測される強度分布は、明または暗となるのです。ダブルパルスを構成する2つのパルス間の時間差は一定です。しかし、パルスのもつ周波数成分それぞれにとって、この同一時間差は、異なった位相差に相当します。なぜなら、周波数（波長）が違っているのですから。超短パルスに含まれる周波数成分は、中心周波数を中心に、ほぼ連続的に変化していると考えられます。したがって、同一周波数をもつ2つの波の間の位相差も、周波数変化に対してほぼ連続的に変化します。もちろん位相差ですから、周期 $2\pi$ の周期関数です。したがって、位相差で発生する干渉縞は、周波数（波長）変

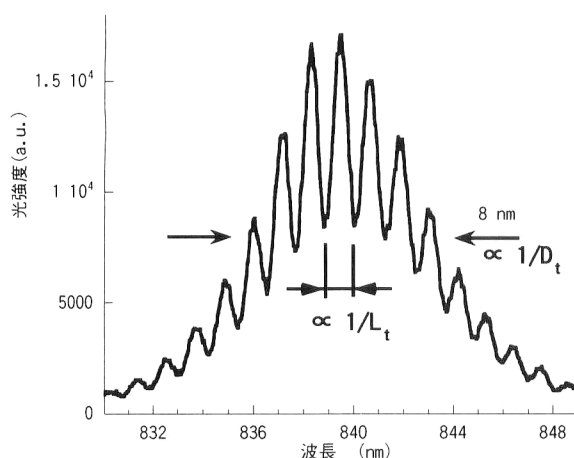


図3 スペクトル領域で発生した干渉縞。

化に対して、明暗の周期構造となることが想像されます。

結果的に、横軸を周波数（波長）として光強度の強弱（干渉縞）が発生します。ある条件のもとで得られた干渉縞の強度分布を図3に示します。このような干渉縞は、イメージングタイプの分光計を用いると簡単に観測できます。干渉縞間隔はダブルパルスの時間間隔に反比例します。干渉縞包絡線の広がりは、パルスの時間幅に反比例します。時間と空間を入れ替えると、ヤングの干渉縞となら変わりありません。直径の小さいピンホールは広い空間周波数成分を発生します。超短パルスのパルス幅が狭くなればなるほど広い周波数成分を含みます。100 fsの超短パルスは中心波長が、800 nm 近辺で、10 nmの波長幅のスペクトルを示します。空間的に限定するのも、時間的に限定するのも、似たようなものですね。

このようなスペクトル領域での干渉手法は、超短パルスのスペクトル位相などの特性評価に利用され、スペクトル領域干渉計とよばれています。空間領域の干渉計同様に、多くの物理量の観測に役立つ

ています。スペクトル領域での干渉は、超短パルス光に限らず、白色光でも得られ、光ファイバーの偏光モードの分散測定など、いくつかの利用法の提案がなされているようです。

ヤングの干渉実験をもとに、時間領域と空間領域のフーリエ変換や干渉の相似性についてお話しました。筆者は、従来、空間領域で光波の利用をメインに研究を進めてきました。しかし、時間・空間を入れ替えて、時間領域での利用法を学ぶことで、新しいアイデアが湧いてくることを期待しています。

「光工房」では、学生から研究者、技術者までに、「あ、なるほど。」と思わせる記事を掲載することを期待してきました。本稿がそれに値するかどうか、若干、心配です。しかし、これまでは、光調査委員会委員の皆様のご努力で、そこそこ面白い話題を提供できていると思いますが、いかがでしょう。難しい話題の多い学術雑誌「光学」に、今後も、電車の中で読める記事を提供していただきたいと思っています。これまでも、また今後も、「光工房」の読み物をトリガーにして、ちょっと調査してみる気を起こせたら、光調査委員会に携わる甲斐があります。

(神戸大 中川 清)

この記事や光調査委員会の活動についてのご意見は、omatsu@image.tp.chiba-u.ac.jpあるいは、tanida@mls.eng.osaka-u.ac.までお願いします。

## 文 献

- 1) A. Walmsley; "Measuring ultrafast optical pulses using spectral interferometry," Opt. Photonics News, April, (1999) 28-33.
- 2) Cl. Froehly, A. Lacourt and J. Ch. Vienot: "Time impulse response and time frequency response of optical pupils. Experimental confirmations and applications, Nouv." Rev. Opt., 4, (1973) 183-196.