

(0) Introduction

今日のテーマは「光の不思議を探ろう」です。光は日常的に接しているもので、物をみるときには必ず光を通して目で見ているわけです。しかし、日頃常に接している光についての性質にはいろいろ不思議に思われる現象があります。その中でも特に、物体がまるでそこにあるように立体的に見えるホログラフィーというものがありますが、その仕組みはよく分かりませんね。

そこで今日は、光の基本的な性質からホログラフィーの仕組みの原理を理解することと、実際にホログラフィーを作って像が見えることを体験してみましよう。

**【ホロスペック眼鏡による体験】**

参加者に1個ずつホロスペック眼鏡を配り、小さな光源(点光源)を見たときにある種の形や文字が見えることを体験してもらおう。

【部屋を暗くする。 小さな光源(LED)を準備する。】

何が見えましたか?なぜこの眼鏡をかけて光源を見ると文字が見えたり、形が見えたりするのだろうか?

**【ホロスペック眼鏡をルーペで観察】**

ホロスペック眼鏡には何か縞模様のようなものが見えるね。これが文字や形が見える原因だよ。このような縞模様を書き込んだものをホログラムというよ。

普通に物をみるときはものから光が出てきて発散してきて、それを目で見てるんだけど、それと全く同じように光が発散するようにしてやるとものがあるように見えるんだよ。次の例はその1つの例になっているよ。

**【パラボラマジックミラーの観察】**

ものが浮いているように見えるね。でも、そこを手で触っても何もないでしょう。不思議だよな。中はどうなっているのかな。

なぜものが浮いてあるように見えるかを林先生に説明してもらいましょう。

**【パラボラマジックミラーの幾何光学な説明】**

今の説明で分かったことは、マジックミラーではものから出る光をミラーでうまく集めてミラーの上側にいったん集光して、そこから光が発散するようにしているね。この発散する光は、ものから出た光が発散するのと全く同じようになっているので、ものがあるように見えるんだね。

ホログラムでも実は同じことを違った方法でやっているんだよ。光の性質を

うまく使ってホログラムを作ると、それに光が当たるとあるものから出る発散する光と同じものを作れるんだ。それを分かるためには少し光の性質を勉強しないとイケないよ。

## (2) 光の波動性についての説明

ホログラムは光の波の性質をうまく使ってものの像が見えるようにしたものなんだけど、波っていうものがどんなものかをおさらいしましょう。

波といえば海や川・池のなかの水の波を思い浮かべますよね。その実例をここで見てみましょう。

### 【水波の演示（回折・干渉）】

#### 水波の平面波

これがきれいな水波の例で、波が進んでいくことが分かりますね。でも、水が移動しているわけではないんだ。水の振動が伝わっているだけなんだ。こんなきれいな波を平面波と呼ぶよ。この波の山から山までの距離を波長と呼ぶんだ。

#### 水波の回折

この平面波に1つの隙間のある板を入れると、波の伝わり方が変わるね。隙間の外側にも波が広がっていくのが分かるよ。このような現象を回折というよ。

#### 水波の干渉

今度は2つの水波を重ね合わせたらどうなるかを見てみよう。2つの球面波を重ねると縞縞ができて、波の強いところと弱いところができるね。このようになるのを干渉という。

波の性質を持つものはどんなものでも水波のように回折・干渉を起こすんだよ。光が波の1種だと分かっているんだけど、それが分かったのも光も回折・干渉を起こすことが観測されたからなんだよ。それでは、光が回折干渉を起こすことを実際に見てみよう。

### 【光の回折・干渉】

レーザーを使って確かめますが、このレーザーはきれいな平面波を作る非常に優れた装置なんだ。

#### 光の回折

短スリットを通したときに光がどのようなか見てみよう。短スリットの形もルーペで確認しよう。

#### 光の干渉

複スリットを通したときに光がどのようなかを確認しよう。縞縞模様がみえるかな。また、複スリットがどんなものかルーペで確認しよう。

今確認したように、光が回折・干渉することが分かったね。これで光が水波と同じような波の1種だということが分かるね。光で回折干渉が分かりづらいのは波長が非常に短いからなんだ。

### (3) ホログラフィーの説明

ホログラフィーは1948年にイギリスの D.Gabor によって最初に提案されたもので、光の干渉を使って干渉縞を記録すると、その記録したもの（ホログラム）に光を当てるとものの像が再現できることを示したんだ。このホログラフィーの原理を理解するために簡単な場合から考えようね。

#### 【ゾーンプレートの説明 (OHP)】

記録しようとする物体の1点から出る光は球面波と考えていい。それとある方向に進む平面波を重ねるとこのような縞模様ができるね。それをある平面で記録するとこのような同心円上の干渉縞になるんだ。この干渉縞の間隔を測ると半径が奇数の平方根の比になっているよ。

このゾーンプレートは一点から出た光の情報を記録していて、平面波の光だけを当てるとゾーンプレートで回折された光の一部は、物体の1点から出てくる光を再現するよ。また、一点に集光する光の成分もできる。このことを実際に確認してみようね。

#### 【ゾーンプレートでの実験(LED)】

ゾーンプレートは回折がよく起きるように写真にとって縮小してあるよ。LEDからの光を見たときに明るい1点が見えるのが、1点からの光を再現した回折光を見ていることになる。また、光源と反対側に紙をおいて、間にゾーンプレートを入れて場所を変えると光が集光する所があるよ。

平面波と球面波を干渉させたパターンであるゾーンプレートで1点からの光を再現できることが分かったね。再現した光は1点がどれだけ遠くにいくかも再現しているよ。

実際のホログラムでは平面波（これを参照光という）を記録する乾板に対して斜めに入れるので、記録する干渉縞はこのような縞模様になるんだ。(OHP) 2点から光が出る場合には、干渉縞は少し複雑になってこんな風になるよ。でもまだ縞模様は規則的だね。実際に物体、写真、文字などを記録するときにはできる干渉縞は滅茶苦茶複雑になって、例えば「香川」という文字をホログラムにしたときに記録される干渉縞はこんな風になる。何がなんだか分からないようだけど、この中にちゃんとこの字の情報が入っていて、これを縮小したフィルムに平面波を当てると、字が見えるんだ。

このことは、これからやる計算機ホログラフィーの作製でやってもらうので、本当にそうなることが体験できるよ。

## 計算機ホログラムの原理とこれによるホログラムの製作（説明原稿）

### I 計算機ホログラムの原理と使用ソフト

物体からの散乱光と光源（レーザー）からの直接光が、波として、フィルム上で重なる光の強弱の縞模様（干渉縞）が生じる。このフィルムを現像するとホログラムになる。ここで、実際に光波を干渉させる代わりに、計算機で光波を重ね合わせて干渉縞を求め、用紙に拡大してプリントアウトする。これを写真撮影すると縮小されて、元の大きさのホログラムになる。

2次元の画像からホログラムを計算するプログラムが、吉川浩（日本大学）氏よりフリーソフトとしてインターネット上で公開されているので、本日はこれを用いてホログラムを作製する。（<http://www.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/oyl/Cholo/Cgh/>）

### II 計算機ホログラムの作製

\* パソコンは立ち上げておく。デスクトップの画面にフォルダ(仮名:理科教室)を作り、「ペイント」、「Microsoft Photo Editor」、「WinFft.exe」、「ホログラム B4.doc(印刷作業用ファイル)」をいれておく

#### (1) 画像ファイルを作成する。( 線画と人物写真 )

- ① 線画：フォルダ「理科教室」をクリック→「ペイント」を起動する→「変形」→「キャンパスの色とサイズ」→「カラー、ピクセル」を選び、「幅 150、高さ 200」程度に設定（最大 256×256）→左端の道具を使って線画（文字、アニメ等）を描く（文字や線は太く大きく）→「変形」→「色の反転」→「ファイル」→「名前をつけて保存」→ファイルの種類「256色ビットマップ」にして、ファイル名をつけ、フォルダ「理科教室」に保存



- ② 個人写真：顔に光がよく当たるような位置で、暗幕の前に立つ。→係りがデジタルカメラで撮影するのでそのFDを受け取る。→机の下にあるパソコン本体にFDを入れる→「Microsoft Photo Editor」を起動する→「ファイル」「開く」→ファイルの場所「3.5 インチ FD」→FD中の写真ファイル名選択「開く」→「イメージ」「サイズ変更」→単位を「ピクセル」にして「幅 150、高さ 200」程度に設定（最大 256×256）→（写真のコントラストが良くない場合は「効果」で「スタンプ」を選び線画にする。「プレビュー」してみてよければ「適用」、だめなら「キャンセル」または「閉じる」「保存しない」）→「ファイル」→「名前をつけて保存」→「オプション」→変換形式「グレースケール(8ビット)」ファイルの種類「Windows ビットマップ(\*.bmp)」にして、ファイル名をつけ、フォルダ「理科教室」に保存

#### (2) 画像ファイルをホログラムファイルに変換する。

「WinFft.exe」をダブルクリックして起動→入力ファイル名は「参照」をクリックして（1）で作製した画像ファイル名を選ぶ→出力ファイル名は白い四角の部分にファイル名を入力する。後尾に拡張子（.bmp）をつけておく→用紙「B4」、

dpi「200」にして「OK」→計算が終了すると 3842kB のホログラムファイルが作製される  
もう一つの画像ファイルも同様にしてホログラムファイルに変換する。

(3) ホログラム原図の印刷

「ホログラム B4.doc」(印刷作業用ファイル)をダブルクリックして開く→「挿入」→「図」「ファイルから」→(2)で作製したホログラムファイルを選択→白い四角の部分(テキストボックス)にホログラムのタイトル名を記入→テキストボックスをドラッグしてホログラム(干渉縞)上部に移動  
もう一つのホログラムも同様にして挿入し、テキストボックスをはり付ける。  
→印刷をクリック(B4用紙にホログラムが出力される)

(4) 写真撮影(ホログラム原図を縮小)

光の波長は短い(約、1万分の5mm)ので、実際の干渉縞の間隔は短い。その大きさになるようにホログラム原図をフィルム上に縮小する。

・大きな白紙上に、ホログラム原図を貼り付ける→係りが、フィルム 1/4 に入る大きさに撮影する。(ミニコピーフィルム使用、ダークレスで現像、の条件で、露出時間は、カメラの自動撮影のデータの 1.5 倍が適当:晴れた日の室内で、絞り F11 にして、6 秒くらい。ミニコピー専用のコピナール現像の場合は F11 で 0.7 秒)  
(フィルムは微粒子ほど良い。入手しやすいのは富士フィルムのミニコピー HR II。

現像したフィルムの銀粒子は約 20 $\mu$ m 径なので、400 倍顕微鏡ではっきりと見える。市販のホロスペックスは全く粒子が見えない。ホログラム感光材料「PFG-01」は銀粒子径 35~40nm (約 3000lines/mm) でミニコピーの約 1/1000 の超微粒子)

(5) 写真の現像と定着(ホログラムフィルムの作製)

粒子は粗くなるが、ここでは「ダークレス」を用いる。(廃液小、時間小、暗室不要)

・ 20℃の水中に現像液と定着液のアンブルを入れておく→フィルムの端をパトローネ内に巻き込む→現像液を容器内に入れ、その中へパトローネを入れて 5 s 待つ→2 分 30 秒間フィルムを正逆交互に回す。→現像液を捨て、容器に定着液を入れる。→4 分間、フィルムを回し続ける。→パトローネからフィルムを取り出し、水洗する。規定は 30 分だが、水中で手でフィルム上の液を軽く取ると 15 分くらいでよい?→・ドライウェル溶液に少しの間(30 秒)つけて出す。→フィルムを振って、水滴を除き、風に当てて乾かす。→良いものを切ってマウントに入れる。

(6) ホログラムの観察

製作したホログラムを通して、発光ダイオードを、数m離れたところから見る。

\* ホログラムファイル以外のファイルは FD に入れてお土産にする?