

簡単ホログラフィ

宮城県泉館山高等学校

加藤徳善

ホログラフィの撮影は、技術的に難しく撮影機材も高価という認識があり、今までいくつかの実践報告(付録(2)(a)参照)はあるものの、あまり高校の現場では行われていない。しかし、普通に物理室にあるもので比較的簡単に撮影できることがわかったので紹介する。レンズを使わないで光の干渉と回折を利用した撮影・再生法は、生徒の興味・関心をかき立てることが期待でき、新学習指導要領でいっそう重視されている課題研究のテーマなどにも打って付けと考える。

1 ホログラフィの原理

ホログラフィは、物体から散乱される物体光と別に照射される参照光を感光乳剤上で干渉させ、その干渉模様を記録することで物体を撮影する技術である。また撮影されたものをホログラムという。「ホロ」は「全て」という意味があり、従来の写真のように一つの視点から見た物体光の強さだけを記録するのではなく、あらゆる方向へ散乱する物体光の、向きまでも含む情報を記録できるものである。

感光乳剤には物体からやって来る光の向きと強弱が縞模様の重ね合わせとして記録される。参照光を照射することで、その縞模様が回折格子と同じような役割を果たし、物体からやって来る光を再現することで、あたかも物体があるかのような虚像を見ることができる。

ここで大切なことは、物体光と参照光が可干渉性の光であることである。したがって、レーザー光をビームスプリッターで分けてそれぞれの光とすることが一般的な方法となっている。

また、干渉縞の間隔が1マイクロメートル程度のため、撮影の露光中に振動があってはうまく干渉縞が記録できないことになる。当然のこととして、これだけの分解能を持つ特殊な感光材料も必要となる。

2 撮影の実際

(1) フレネルホログラムとリップマンホログラム

今回撮影を試みたのはフレネルホログラムとリップマンホログラムの二種類のタイプのものである。フレネルホログラムは物体光と参照光を感光乳剤の同じ側から入射して撮影し、干渉縞が感光乳剤の塗り広げられた方向に記録される。再生にレーザー光線が必要であるが、比較的感光剤が安価で入手しやすい。一方リップマンホログラムは物体光を感光乳剤を挟んで参照光とは反対側から入射して撮影し、干渉縞が感光乳剤の厚さ方向に記録される。白色点光源(太陽光など)で再生できるのが魅力であるが、感光剤が高価である。

(2) 撮影のセットアップ

撮影のセットアップはどちらのタイプも簡単なもので、図1の(a)、(b)に示した。このような撮影法は「物理紀要 第1号(1993年度版)」で阿部正幸先生が「ホログラムを作ってみよう」で紹介している。光学系が簡単で、高価な表面鏡などを用いなくてよい上、部品数が少ないために振動を拾いにくい点や、干渉させる2つの光の光路差を意識しなくてよい点が優れている。レーザー光といえども、物体光と参照光の光路差が大きくな

図1 ホログラム撮影のセットアップ

(a) フレネルホログラム

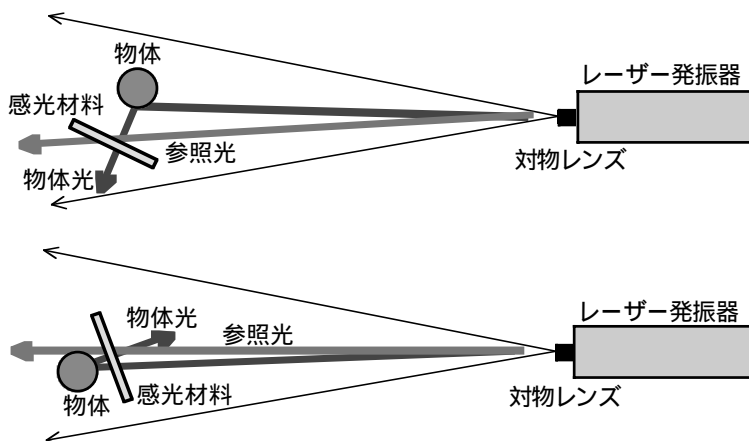
物体光と参照光を感光剤の同じ側から入射して撮影し、干渉縞が感光乳剤の塗り広げられた方向に記録される。

再生にレーザー光線が必要である。

(b) リップマンホログラム

物体光を感光剤を挟んで参照光とは反対側から入射して撮影し、干渉縞が感光乳剤の厚さ方向に記録される。

白色点光源(太陽光など)で再生できる。



ると、可干渉長(コヒーレント長)を越えてしまい。うまく干渉しなくなるのである。

今回の撮影で考慮したことは、できるだけ物理室に既存のもので簡単に撮影できないかということであり、それらの点について詳細を次に示す。

(a)除振台

前述のように撮影は振動を嫌うため、一般には高価な除振台上で撮影を行う。これを何とかできないかと考え、完全非弾性ゴムで暗室内の実験用テーブルを浮かせて除振台とした。具体的には弾まないボールが教材として入手できるが、それをテーブルの脚部に挟んだ(図2)。テーブルは上板が厚く重いものであるが、普通に実験室に備え付けのものであり、これで十分撮影できることがわかった。(場合によってはこのゴムを挟まなくても十分撮影できた。)



図2 除振台脚部

黒いボールが完全非弾性ゴムで、床の振動を吸収することが期待できる。

(b)レーザー発振器

レーザー発振器は出力1.0mWのHe-Neレーザーを用いた。レーザー発振器は、ゴム足を外して板にネジ止めし、テーブルにしっかり固定した。一般に用いられる鉄の台ではなく木製の台なので磁石が使えないため固定にはミニクランプを用いた(図3)。



図3 使用したレーザー発振器

ゴム足を外し、木ねじで合板に固定しミニクランプでテーブルに固定した。レーザー光の出口に顕微鏡用の40×対物レンズをねじ込んで光を広げる。

レーザー発振器の固定は重要な要素である。なぜなら、レーザー発振器から約1.5メートル先の感光乳剤上で光の揺れを1マイクロメートルよりももっと小さく押さえなければならず、レーザー発振器の角度のぶれを極力抑える必要があるからである。またこのことから、テーブルもたわみの小さい厚くて重い上板のものを用いた方がよい。

レーザー光の出口に光を広げるために顕微鏡の対物レンズ40×を取り付ける。もっと倍率の高いものがあれば効率よく光を広げられるが、一般に40×が最も倍率の高い(焦点距離の短い)レンズのようである。このレンズを用いることで約1.5m先で十分に広がった光が得られる。

(c)感光材料の固定

感光材料の固定器具は、L字型アルミ材で自作したが(図4)、U字型磁石や鉄製ブックエンドでも代用できる。テーブルにミニクランプで固定しているが、ここは比較的振動に鈍感で、がたがたしなければ置いた程度でも写る。

(3)感光材料

感光剤は高い分解能のホログラフィ用につくられた



図4 感光材料の固定器具(手前)

ヒョウの置物のフレネルホログラムを撮影するときのようである。奥に見えるのがレーザー発振器である。

ものでないと撮影は難しい。今回は次のものを用いた。

(a)フレネルホログラム用

KODAK SO-253 (4 × 5 インチ)

価格12,000円(25枚)

購入先：有限会社 石川光学造形研究所

(付録参照)

これは高感度で安価なフィルムタイプの感光剤である。扱いやすくするために乳剤が硬膜処理されており、背面からの反射をなくすために青い色素が含まれているなど、リップマンホログラムには用いられない。2枚のガラス板に挟んで撮影する。

(b)リップマンホログラム用

HOLOTRENDPFG-03-45(102mm × 127mm)

価格45,000円(25枚)

購入先：中央精機株式会社(付録参照)

リップマン用の感光剤はガラス乾板で硬膜処理されておらず感度増強のための色素も含まない特殊なものであり低感度である。フレネルホログラムにも用いることができる。

(4)撮影

撮影物体は露出中に少しでも動いてしまうと干渉縞が記録されない。したがって堅く安定しているものがよい。私は金属製の置物や、貝殻を主に用いたがプラスチックでも安定さえしていればよく写った。

露出時間は、初めに露出時間を変えて試し撮りを行って決めると良い。私のセットアップではフレネルホログラムが0.2秒、リップマンホログラムが20秒程度で撮影しているが、最良時間を模索中である。

感光剤をホルダーにセットし、レーザー光の出口を黒い厚紙をおいてシャッターとした。十秒程度待って振動が落ち着いたところで厚紙を取り外して露光し、再び厚紙で光を遮り露光完了となる。

また撮影前にレーザーを少なくとも30分以上付けて安定した発振状態しておく必要がある。

(5)現像処理

KODAK D19などの現像液を用いて通常のフィルムと同じ停止・定着処理を行う。フレネルホログラム用のフィルム(SO-235)はアルコールによって色素除去処理も行う。また両方とも像の明るさを増すために漂白処理を施し、ホログラムを位相差ホログラムに変えると明るい像になる。水洗い後の乾燥では水滴防止剤(ドライウエル)などにより乾

燥が一様に進むようにする。

私は、石川光学でフレネルホログラム用フィルムと一緒に現像セット(2,000円)を購入し、それをリップマンホログラムにも転用したが問題はなかった。現像処理については購入先で詳細な資料を提供しているのでそれを参照して進めればよい。

3 撮影結果

撮影したホログラムの再生像の写真を図5、6に載せる。図5にフレネルホログラムの再生像を示した。上のものは図4に示したセットアップで撮影したヒョウの置物の像である。左下は貝殻をアレンジしたものである。右下はプラスチック製のウルトラマンであるが、このようにある程度柔らかいものでも振動さえなければ写る。

図6はリップマンホログラムの再生像で、ガラスに入れた貝殻とミニカーをアレンジしたものである。右上に通常の写真を示したので比較してもらいたい。ガラスの中にレンズも入れたが、レンズを通してみえる貝殻模様が、視点を動



図5 フレネルホログラムの再生像

上：真ちゅう製のヒョウの置物

左下：貝殻のアレンジ 右下：プラスチック製ウルトラマン



図6 リップマンホログラムの再生像
 グラスに入れた貝殻とミニカー(右上が普通の写真)

かすと実物と全く同じように変化し興味深い。

4 まとめ及び今後の課題

除振台や光学系などで、高価なものを使用しなくても簡単にホログラムが撮影できることがわかった。適切な指導で、生徒でも十分に撮影可能である。

今後の課題としては、もっと像の明るさと質を増すための工夫が必要である。像の明るさについては、適正露光時間を詳細に調べるとともに、レーザーを直線偏向にして撮影してみることが上げられる。使用したレーザーはランダム偏向であるので、干渉縞のコントラストが落ちていることが考えられるからである。

また、質を上げる工夫としては、レーザー光の一様性を増すことが上げられる。これは対物レンズによってレーザー光が一点に集められる位置にピンホールを置く方法で行える。すなわち空間フィルタ(スペシャルフィルタ)をかけるのである。ただこのためのピンホール等の機器は高価である。

また、実際に撮影しなくても大変美しいホログラムを購入できる。インターネットを通じて見つけた「ホログラムをつくろう」というサイトでホログラムも販売している。1枚3千円で購入でき、授業で生徒に見せたら大変講評であった。

ホログラフィの技術は、原理的にはわかっているものの、やはり実際に目にすると不思議なものである。ましてや自分で撮影してみて、うま

く撮影できたときの感激は大きいものがある。これをうまく教育に生かしていければと思う。

以上

付録

(1) ホログラフィ関連物品購入先

(a) 中央精機株式会社 営業本部

〒101-0063

東京都千代田区神田淡路町1-5 及川ビル

TEL 03-3257-1911(代)

<http://www.chuo.co.jp/>

光学機器及びリップマンホログラム用感光剤が入手できる。ホームページからホログラフィに関する資料が無料で入手でき大変参考になる。カタログも無料で送付してくれる。

(b) (有)石川光学造形研究所

〒142-0052

東京都品川区西中延2-15-14

TEL 03 - 3785 - 6044

FAX 03 - 3785 - 6560

<http://www.holoart.co.jp/>

教材用ホログラム撮影機などを製造販売している。フレネルホログラム用フィルムや現像液セットなどを入手できる。

(c) 「ホログラムをつくろう」ホームページ

<http://www.jomon.ne.jp/~artnow/>

ホログラムを研究・開発・販売している個人のホームページ。美しいホログラムを入手できる。

(2) 参考資料

(a) 物理紀要 第1号 1993年度版

ホログラムを作ってみよう

阿部正幸

高校生にも出来るホログラフィーの実験

佐藤昌孝

(b) 理科通信 サイエンスネット

平成11年11月1日発行 第7号

数研出版株式会社

(c) 中央精機のホログラム 改訂4版

中央精機ホームページ <http://www.chuo.co.jp/>

中央精機株式会社