



## 技術実習余話

京都工芸繊維大学 名誉教授  
株式会社 久保田ホログラム工房 代表取締役  
久保田敏弘  
KUBOTA, Toshihiro

「今度研究室でレーザーが買えることになったのだが、これを使うとこんなことができるそうだ。面白そうだから君やってみるかい？」と指導教授であった故筒井俊正先生から紹介されたのは 1966 年（昭和 41 年）、修士 1 年の初夏の頃だったと記憶している。それは「自然」という雑誌の 1965 年 6 月号に掲載された朝倉利光先生の「ホログラフィーの誕生」と題した解説記事であった<sup>1)</sup>。私がホログラフィーの存在を知ったのはその時で、黒い筐体から発する赤い一本の光線、これによって新しい三次元画像の世界が拓かれる不思議さと魅力にとりつかれ、それ以来ホログラフィーは私のライフワークとなり半世紀以上にもなった。初めて He-Ne レーザーが近赤外で発振したのが 1960 年末、それから数年後、市販の製品にまでなり実用化され始めたとはいえまだ当時は珍しかったレーザーにこの時期から接することができたことは幸せであった。

卒業後、縁あって 1968 年 4 月から生産技術研究所の助手としてお世話になり、15 年にわたり故小瀬輝次先生の研究室で研究を進めることになった。当初は超解像の研究などを行い、ホログラフィーに関しては結像特性の解析、新しい感光材料の開発とホログラムのカラー化の研究を行った。水銀灯を光源とするマイケルソン干渉計の正統的な調整法や各種光学部品の取り扱いなど先生の仕草を傍で直接見させていただき教えていただいた経験は貴重でありその後の研究に大変役に立った。その後京都工芸繊維大学に移り、ホログラフィック光学素子の開発や三次元ディスプレイへの応用を進めた。ピコ秒レーザーやフェムト秒レーザーが使えるようになり、「超短パルスレーザーを用いたホログラフィー」に関心を持ち、「法則」として知識としてだけで知っている光の屈折や媒質での全反射などについて、その伝搬の様子を動画像として実際に眼で見えるような装置の開発も行った<sup>2)</sup>。

2006 年 3 月に京都工芸繊維大学を定年退職したが、ホログラフィーとの関わりを断ちがたく、時代の要請もあり「久保田ホログラム工房」という小さなベンチャー企業を立ち上げ、今も研究開発を“楽しみながら”，時にはため息をつきながら続けている。

出始めの時期のレーザーから今日の最新のレーザーまで扱う機会に恵まれ、また創意工夫しながら光学系を組み、いろいろな機能を持つ光学素子や各種の記録材料を扱うことができたことは大変幸運なことと思っている。今まで身につけてきたこれらの知識や技術を若い人たちに伝え光技術の進展のために少しでも寄与できればとの思いは退職当時から持っていた。在職中も講習会の講師などをいくつも行ってきたが、講習会について感じていたことは、光学の知識を教える机上の講習会は数多く行われているが、実際に手足を使って体得できる機会は極めて少ないということであった。知識はもちろん必要であるが、実際に体験してみて初めてその深い意味を知り、得た知識が理解され活かされる。それによって「光の面白さ」を感じていただければ尚うれしい。

抱いていたこの思いを実現したのが「光を扱う研究者・技術者のための技術実習」であり、日時とテーマを決めて受講者を募る講習会ではなく完全に個人指導の実習とし実施してきた<sup>3)</sup>。

実習ではレーザーの取り扱いとそのビームの性質、光学部品の種類と取り扱い、光学系組み立てのポイントとノウハウについてが主なテーマである。パワーポイントを使って知っておくべき知識を説明した後実習に移り、受講者は光学定盤の上で実際に部品に触り手にとってその形状や重みを感じながらそれらの機能を眼で確かめ、机上で説明された知識と混ぜ合わせながら頭の中に再インプットしてゆく。一般的な講習会では経験できないその幾つかを紹介したい。

実習のための光源には安定していて取り扱いやすい小出力の He-Ne レーザーを使う。まず最も簡単なトワイマンーグリーン干渉計を組んでみる。受講者本人の手で 1 枚のビームスプリッターと 2 枚のミラーを適当な位置に配置し実際に干渉縞が出るように試みる。レーザーから出た光は拡げずに細いビームのままであり、コツを説明すれば案外簡単に縞を出すことができる。その縞を対物レンズで拡げて壁に映す。ここからが本番で、干渉縞が拡がって明るさが一様になるように、いわゆるワンカラーになるように微調整をしてもらう。これは結構難しいが努力次第で縞がすっと消え全く暗くすることができる。そのとき眼には残像だけが残る。

この現象は考えてみれば当たり前のことであるが、いじわるな質問してみる。「光は何処へ行ってしまったのか？」エネルギー不滅の法則は誰でも知っているだけに首をかしげて考え始める。そこでしばらくして、干渉計に入った光の一部は光源側に戻っていることを説明する。この現象を印象づけるために実は前もって光源とビームスプリッターの間にもう 1 枚ビームスリッターを入れておき、これで光源に戻るビームの一部を取り出し、観察している本来の干渉縞の横に並んで映るようにしておく、がこのビームは説明して納得してもらうまではカットしておく。両方の干渉縞を並べて見ていると面白い。一方が次第に明るくなるともう一方は次第に暗くなる。定盤の一端を軽く指で押すとこの繰り返しを早めることができ光が明滅しているように感じる。ワンカラーの状態は光路差に極めて敏感で声にも反応する。咳をしようものならその瞬間明るさが変わってしまう。手のひらを一方のビームの下にもってゆくと縞はゆらゆらと動く。これらのことと体験することにより、干渉縞の安定のために細心の注意が必要であることを実感していただく。

平行光の作り方も実習の一つである。そこでは直径数 cm、焦点距離数十 cm 程度のコリメーターレンズを使う。まずは、ビームを拡げるための対物レンズとピンホールを組み合わせてノイズが除去されたきれいな発散ビームを得るためにスペイシャルフィルタリングの操作を体験していただく。これを行ってビーム内に見えていた細かい回折像などのノイズが除去されきれいな均一なビームになるのを見ると大概の人は感激する。もっとも、この効果をより印象づけるために多少傷のついた汚れた対物レンズをこのためにあえて選んでおくのであるが。

コリメーターレンズの両面の曲率半径が異なっている場合「平行光側に曲率半径がより小さい方の面向ける」という鉄則がある。これを逆にすると波面に収差が入ってしまう。両方の面で光を屈折させるとき、一方だけに過大な負担をかけずに両方ともに少しづつ負担すればそれぞれの負担は軽くなると説明すれば納得していただける。平行光を作るにはいくつかの方法があるが、シェアリング干渉法を使うと波面を定量的に評価することができる。それを体験していただく。このために使う素子は極めて精度の高い平行平面板である。この素子は市販されておりこれを使えば一応目的は達せられるが、実習では一工夫された平行平面板を使う。一方向にわずかに楔がついており、これにより完全に平行光になった時に最も荒い数本の等間隔の平行な縞になるようになっている。波面に収差がなければ平行でまっすぐな縞となるが、収差があるときには周辺がだれてくる。縞の間隔とその曲がり具合から波面のゆがみ具合が定量的に把握できレンズの良し悪しがわかる。楔をつけた平行平面板を使うメリットがここにある。

鉄則に逆らってレンズの向きを逆にした場合にどうなるかも敢えてやっていただく。どう動かしても平行な縞にならず位置に応じて独特の縞模様が現れる。個人的な思い入れであるが、平行状態から少しずらした時に現れる二つ眼を持ったパンダのようなパターンが面白く大好きだ。このパターンは具体的には球面収差とデフォーカスがあるときのものであるが、これが現れるとしばらく見入ってしまう。光の造形は素晴らしい！ 収差についての知識を多少でも持った人には、これは 2 つの波面を

横ずらしして干渉させた結果であり、波面に入っている収差の差分を探ったものに相当していることを図を描いて説明すると納得していただける。

平行光ができたところで、これをを利用してマッハ・ツェンダーの干渉計を組んでみる。ビームスプリッターとミラーを平行四辺形の角に配置する。干渉縞を出すためには再び併せた平行光が距離を置いた二か所でずれずに並行に進むことが必須であることを説明するが、この段階ではまず縞は現れてくれない。そこで奥の手を使う。焦点距離 30cm 程度の凸レンズを平行光の中に入れ白い紙の衝立を前後させそこに焦点を結ばせる。2つの点は一致していないのでこれが一致するようにいずれかのミラーの向きを微調整してレンズを除ける。すると細かくはあるが大概干渉縞が見える。こうなれば後はミラーの調整により縞の間隔を拡げてゆけばよい。縞が出たところで、用意した幾つかの被写体を一方の光路に挿入して縞の変化を観察する。熱くなった半田ごてもその一つである。コテ先の空気と接する部分の縞がきゅっと曲がっている。その部分の空気は熱せられ屈折率は離れた部分より小さくなっているはずである。それはどうやったら確かめられるか？質問するとほとんどの人は考え込んでしまう。とかく難しく考え過ぎである。実はその方法は簡単で、どちらかのミラー、たとえば被写体側のミラーをわずかに押してみればよい。押すということはその側の光路長をわずかに短くすることであり、そのときの縞の動きの方向によって判断できる。今度は冷凍庫に用意しておいた氷で同じようなことをする。曲がる方向は逆になる。予想通りでめでたし、めでたしである。では、人差し指を入れたらどうなるだろうか。干渉縞をいっぱい拡げても曲がっているのかいないのか判断が難しい。「心の温かい人は手は冷たい」などと言いながら慰める。

本実習の良さは、一方的ではなく受講者とのやりとりを通して納得しながら進めることができる事であり、また教える側にとってもいろいろな業種の技術者たちと付き合えることである。教えているつもりでも教えられることも多々ある。今まで経験してきた技術やノウハウを若い人たちに伝えることを通して少しでも社会貢献ができれば幸いであり、各人が職場に戻って課題に取り組むときなどここでの体験を活かしてもらえばと願うものである。

- 1) 朝倉利光，“カメラを使わない写真 ホログラフィーの誕生”，自然 **20**(6), 38-50 (1965).
- 2) T. Kubota, “48 Years with Holography”, Opt. Rev. **21**, 883-892 (2014).
- 3) <http://kubotaholo.la.coocan.jp/>