



## 眼光学は面白い

千葉大学 フロンティア医工学センター

大沼一彦 OHNUMA, Kazuhiko

(当協会 眼光学チュートリアルセミナー実行委員会委員,  
「眼光学チュートリアルセミナー」講師及び  
「回折光学素子の基礎と応用」技術講座講師)

一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会 (JOEM) と日本眼光学学会が共催する眼光学チュートリアルセミナーはもう 10 年にもなる。光学の基礎と眼光学における応用を平易に講義する視能訓練士、医師、眼光学関連の技術者向けのセミナーである。初めからかかわってきて、なるべく数式を使わないで、物理的な話をするに、また、最先端の技術を紹介することにしてきた。今年、3 月で停年退職である。そろそろネタ切れで、後輩に譲るときが来ている。光学技術はどうやったら身についていくのかを中心に、やってきたこと、やり残したことなどを述べてみたい。眼光学は他の光学の分野とは、おおいに異なる。人眼には収差があるのは当たり前、フォーカスだってカメラのようにはできない。年を取れば、水晶体は固くなり、白濁し始める。眼のいろいろな計測のためには、普通の光学計測手法ではできないことが多々ある。そこが、いろいろと考える面白さの原点である。

まず、眼内レンズの評価である。一般的には MTF であるが、それだけでは、医師や視能訓練士には伝わらない。HOYA と一緒に模型眼を作り、工業用の CCD カメラに取り付けて像による眼内レンズ評価を行った。最初はどうもいかず、いい加減な結果をだして、大頭先生に叱られた記憶が鮮明に残っている。中心 3 度くらいしか良い像が選らない模型眼を市販のミラーレス一眼カメラに取り付けてパノラマ撮影をすると、十分に広範囲の像を得ることができて、眼内レンズの評価にはとても有用である。女性の方であれば、眼鏡なしで、お化粧するが、唇や、まつ毛がはっきりと見えるかどうかの判断もこの画像ならば十分にできる。ほんとは、網膜のように、半球面の検出器があれば、眼内レンズの評価はもっと進むのであるが、いろいろと考えてみても、なかなかいいアイディアは出てこなかった。

次は、波面からの網膜像推定である。角膜の zernik 収差解析、波面センサーによる眼球光学系の収差測定より PSF が得られる時代となった。そこで、眼鏡をかけた場合、眼内レンズを挿入した場合、また、瞳孔が変化した場合など、どのような像ができるのか、波面からシミュレーションできるソフトを開発した。光学設計ソフトと異なり、簡単かつ瞬時に、いろいろな視距離の像を得ることができ、自分の勉強ばかりか、人に説明するのに、とても便利である。今も、少しずつ version を進化させて使っている。MTF や、PSF よりも、像は雄弁である。このソフトは現在、パワー分布から波面を作り、眼内レンズやコンタクトレンズの評価や解析に使っている。計算機シミュレーションソフトを作ることによって、波面や、フーリエ変換、回折限界など、光に関することの細かいところまでを知ることができる。

途中をずっと飛ばして、3 つめは眼の中の前方散乱測定である。散乱の現象からして、眼光学の分野の人には難しい。散乱と聞くと、一様に広がる概念にとらわれている。散乱がどのような物理現象なのか、そこから理解しないと、どうして、レーリー散乱とミー散乱の分布が異なるのかを理解する

ことはできない。散乱を勉強しようとする、難しい本ばかりで、とても敷居が高い。私も何から勉強していいのかさっぱりわからなかった。やはり、光学の入門のところで、光と電子の相互作用のところから知る必要があったのである。そこが分かれば、後は、それほど難しくはない。といっても、ミー散乱の式は難しい。でもどう使っているのかだけは理解したつもりでいる。やはり、基礎的なイメージを持つことが、大切なことを理解した。最近、とても良い本<sup>1)</sup>がでてきて、うらやましい限りである。心理物理的に前方散乱を測定する装置を開発して、宇都宮大学の阿山先生がそれを改良して、精力的に今も続けていただいている。白内障になって前方散乱が増えていったときに、どのくらいの散乱があり、それでどのように見えているのかを像で示すことができれば、医師や警察の方が、車の運転をするには、危険かどうかのレベルかどうかの判断もできると思われる。高齢化により日本でも、真剣に考える時代がきているように思われる。この研究では、長年このテーマをやられている van den Berg<sup>2)</sup> 先生と新しい装置を開発している Ginis.H<sup>3)</sup>先生とに話しできる機会をたくさんいただけて幸せである。

さて、近年は、視能訓練士さんの教育機関で非常勤講師を務める機会を得ている。集中講義なので、終わるとへとへとであるが、かわいい学生さんが真剣に聞いているので、手を抜けない。光と電子とどのようにかかわっているのか、から屈折率を説明する。わかるかどうかは二の次である。後で、あんな説明をしていたなでもいい。物理はそんなに難しくはない。必ず絵で説明できると信じている。屈折率の次は、snell の式である。そして、snell の式からレンズの結像の式を求める。初めて、 $1/a+1/b=1/f$  にたどり着く。高校の物理では、いきなり、説明もなしに、この式ですという。もちろんそれを嫌う先生もいるようで、平行光は焦点に結ぶ、レンズの中心を進む光は屈折しないを描いた図から、この式を導く説明もある。しかし、せっかく snell の式を勉強したので、この式からレンズの式を導いてほしいものである。光学設計ソフトはすべてこの式が基本である。また、 $1/a+1/b=1/f$  は空気中の式である。角膜のように、空気、角膜、房水のような屈折率が次々と変わる場合には適応できない。やはり、snell の式で、曲率半径を与えたものから曲面の屈折の式を導くのを教えるべきと思う。高校物理のレンズのところは変えてほしい。基礎が大切。物理は暗記ではない。考えるための基礎があれば、考えることが好きになれるはずである。

光学技術はどうやったら身につけていくのかを自分の経験から考えてみると、陳腐かもしれないが、モノやシミュレーションソフトづくりを通して、基礎から知ることの大切なことを知り、また、出会ったその道の専門家の教えや励ましがあってのものである。多分、このような方法が技術者を磨き育てるのだと思う。若いうちは、現場でなんでもやる、なんでもやらせることが、いろいろなアイディアを生むことにつながると思う。どうか、眼光学に関わる仕事をされている会社の偉い方々、若い技術者たちに、外に出て、医師や視能訓練士、眼鏡店とチームを作って、現場の声を聴き、一緒に、新しいものづくりをするようなシステムを壊さないように、そのような医工学連携が、医師にも、視能訓練士にも、眼光学のおもしろさにふれ、考える機会を与えることになると思う。そして、JOEM を有効に利用することをお願いする次第である。

#### 脚注

- 1) 田所利康 (著), 石川 謙 (著), 大津元一 (監修) イラストレイテッド光の科学 朝倉書店 2014 年 11 月
- 2) Tom van den Berg 先生は Netherlands Institute for Neuroscience におられて、その業績は <https://nin.nl/research/facilities/straylightlab/> にあります。
- 3) Ginis.H 先生は athene eye hospital の技師長さんです。次のホームページをご覧ください。  
<http://www.athenseyehospital.gr/en/harilaos-ginis-phd-p331.html>