

第

1

章

**非球面レンズの
生い立ち**

製作が困難な非球面レンズ

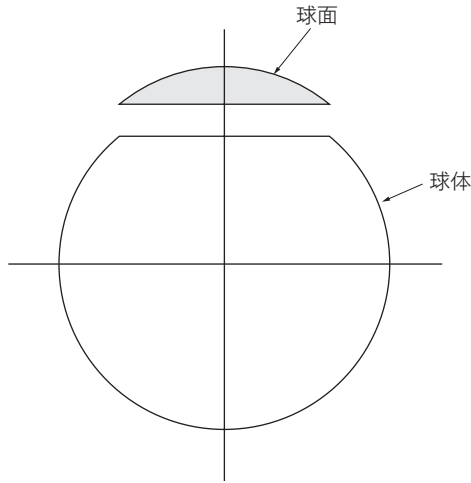
レンズはわれわれの日常生活の中で重要な役割を果たしているデバイス（要素部品）の一つだが、あまり目立たず地味な存在である。しかし最もポピュラーなレンズであるメガネや、もっとハイレベルのカメラのレンズなども、それがかなり精密に作られていることはもう常識といってよいだろうし、また日本がレンズ製作の技術では世界でトップクラスにあることもかなりの人が知っている。

そのレンズの世界で、二〇年余り前から静かな革命が起こっている。七〇〇年前イタリアでメガネが生まれ、四〇〇年前ガリレオが望遠鏡を作ってから今日まで、変わらずに使われてきた表面の形が球面のレンズのほかに、新しく表面形状がもっと複雑な形になっている非球面レンズが使われるようになったのだ。しかもその作り方が、これも数百年変わらなかつたガラスを磨いてレンズにする方法ではなく、溶けたプラスチックやガラスを型に入れ、成形（モールド）してレンズを作ることが始まったのである。

数百年前から、レンズは人の視覚を補うメガネとして使われてきた。しかし科学の歴史の中でレンズが舞台上に登場するのは、ガリレオ・ガリレイ（一五六四―一六四二）がレンズを使って作った望遠鏡で天体観測を行ってからである。

望遠鏡はガリレオ自身の発明ではなく、一六〇八年にオランダで望遠鏡が発明されたことを聞いた彼が、一六〇九年に倍率一〇倍のものを完成させ、土星を観測して土星に耳のようなものがあることを発見したこ

図 1-1 球面レンズ

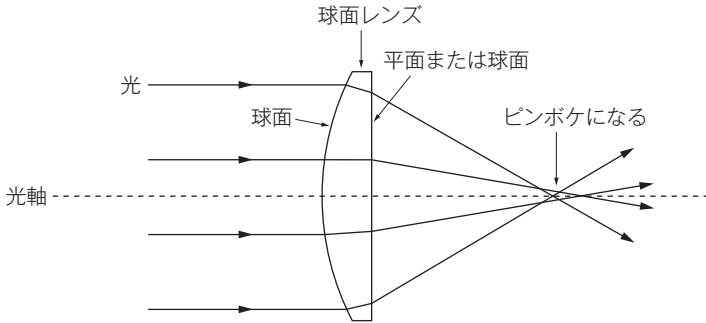


とはよく知られている。その後、オランダで一時二五ギルダーの紙幣を飾っていた科学者クリスチャン・ホイヘンス（一六二九―一六九五）が倍率五〇倍の望遠鏡を作り、ガリレオが見た土星の耳が実は環であることを発見した。

ガリレオやホイヘンスが作った望遠鏡のレンズはすべて球面のレンズで、図1-1のようにガラスの球体の一部を切り取ったような形をしており、切り口は平面でもう一方の表面が球面であるような物体である。図の形は球面が凸状にふくらんでいるので凸レンズ、逆に平面の反対面が凹んでいるのが凹レンズである。

さらに両面が球面になっているレンズもよく使われた。ガリレオやホイヘンス、また同時代に有名だったドイツの天文学者ヨハネス・ケプラー（一五七一一―一六三〇）の望遠鏡もすべてこの球面のレンズであった。彼らが作った望遠鏡は、後に出てくる反射型望遠鏡に対して屈折型望遠鏡と今では呼ばれている。彼らの望遠鏡は凸レンズや凹レンズを直線上に何枚も重ねて筒の中に並べて使っており、中には一〇枚近くにな

図 1-2 収差の一例



る組み合わせレンズもあつたようである。これほど多くのレンズを使わなければならないほど彼らを苦しめたのが、「収差」と呼ばれる現象であつた。

望遠鏡も、後から出てくる顕微鏡やカメラも、そこでのレンズの役割は実際の物体からの光を集めてレンズの後ろに平面的な像を結ばせる（結像という）働きにある。ところが表面が球面のレンズ一枚だけではこの結像が正確にはできない。それは図1-2のようにレンズの中心近くを通る光と、周辺を通ってくる光の結像点が少しずれたり、光がレンズ面に向かって垂直に入るか、斜め方向から入るかによっても像を作る位置がずれていわゆるピンボケになってしまう。このようにいろいろな原因で理想的な像が作れない現象を収差と呼んでいる。レンズを何枚も使うのは、一枚のレンズで生じる収差をその後に置いた別のレンズで補正する、ということを繰り返した結果だが、実はホイヘンスはこの矛盾に対して一つの解決策を見付けていたのである。

特許制度は、欧州の科学者が科学上の発明を英国の

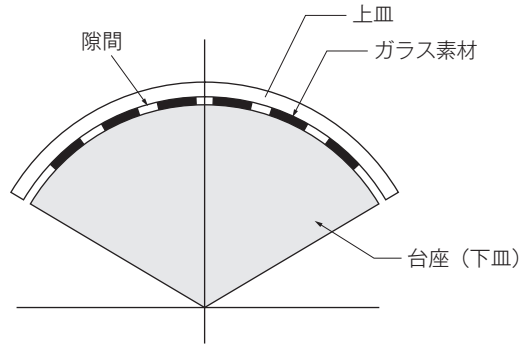
王立科学協会に登録することにしたのがその始まりである。当時は最初の発明者のプライオリティを保証しながら発明内容の機密を保つため、一種の暗号として発明を短い文章にまとめ、そこに使われている個々のアルファベットの出現回数をリストにしたもので登録していた。ホイヘンスはこの制度の設立に尽力したこともあって、その登録の最初は一六六九年二月の彼の発見による「二枚の球面レンズは双曲面レンズ一枚に匹敵する」というものであった。これが、表面が球面でないレンズ、すなわち「非球面レンズ」の歴史上初めて登場であるが、ホイヘンスは収差を除くために双曲面レンズを使いたいところを二枚の球面レンズで代用させたわけである。

今では中学校の数学で二次方程式を学び、理系に進むと二次方程式が表す放物線と円、楕円に双曲線をまとめて二次曲線と総称することを教わる。ホイヘンスの発見は円（三次元では球）以外の二次曲線、レンズの表面で言えば球面以外の二次曲面を応用すれば収差を球面ばかりの組み合わせよりも少ないレンズで補正できることを示唆していたとも言える。

二次曲面を使うことになれば、その延長で三次、四次、五次、六次と複雑な、いわゆる高次曲面を使って収差の補正をもっと有効に行おうとすることは誰しも考えることであろうし、研究もある程度進められたが、実際にこのような複雑な曲面を持ったレンズはほとんど実用されなかった。その理由は、こういう複雑な曲面のレンズは考えただけでも作るのが難しいと思われるのに比べて、球面のレンズは格段に作りやすいことであつたと言つてよいだろう。

円、球というのは自然界で最もバランスのとれた収まりの良い形として至る所に現れる。それは「一点から等距離にある点の軌跡」「ある体積に対して最小の表面積の立体」という単純明快な物理的性質によるもので、現在でも球面レンズの製作にはこの単純さがフルに活用されている。球面レンズの作り方の原理は図

図 1-3 球面レンズの製法



1-3のように、作りたいレンズの曲率半径（レンズの球面に相当する球体の半径）より少し小さい半球形の台座（下皿）の上に、あらかじめレンズの形に前加工したガラスの素材を多数貼り付け、上から同じような鉢状のもの（上皿）を被せて隙間に砥粒を含んだ水を流しながら、ちょうど子どもの頭を撫でるように、台座と鉢を擦り合わせるように動かして、レンズが所定の曲率半径になるまで磨く方法であり、研磨法と呼ばれる。この研磨法で一度に多数のレンズを作ることができるが、これは表面が球面であるからこそ可能な方法で、仮に表面が放物面であったらこの方法では台座の頂点にただ一個の素材しか置けず、しかもただ擦り合わせるだけでは放物面にならないことはすぐわかる。球面以外のレンズはすべて一枚ずつ職人の手磨きで作るしかなかったのである。

このように作りにくい非球面レンズの数少ない実用例の一つに天体望遠鏡がある。ガリレオたちが使っていた屈折型望遠鏡では天体からの光を直接レンズで集めるが、口径の大きなレンズが作れなかったためどう