

## 江戸時代の光科学への関心 (3)

## — 屈光の説 —

藤原裕文

(室蘭工業大学工学部)

江戸時代の末、光についての科学的知識は、光線の反射・屈折の法則を基礎にした幾何光学から、視学諸器による結像、眼目視法などを定性的であるにしても、説明することができるほどのレベルに達した。今回は屈折の法則の受容について述べることにする。

まず、古代中国の戦国時代（紀元前）に活躍した諸子百家の一人墨子と彼の開いた墨家の300年にわたる活動を集成した『墨子』を話題としたい<sup>1,2)</sup>。本書には、半影と本影、物体と影、ピンホール写真、平面鏡、凹面鏡や凸面鏡による結像、光の屈折などについて簡潔ながら論理的に述べられている。つぎの引用文中、経とは命題であり、説とは命題の注釈である。「経五十六」には「形の大きさは、水に沈めると浅くなる。理由は見（かけ）にある」<sup>1)</sup>とあるが、これには別の解釈もあるという。「説五十六」には「沈んだ部分は見かけの形である。沈めると浅くなるのは、物体が浅いからではない。深さ（の差）を比べると五と一の比である」<sup>1)</sup>。物体を水に沈めると沈めた部分が浅くなるのは物体が浅くなるのではなく、5分の1だけ浅く見えるという。屈折の法則を発見したというわけではないが、棒が水に垂直に立てられたとして、上記の文から水の屈折率を計算すると1.25となり、今の値1.33に近い。なお、文献1,2)には、それぞれ、『墨子』の全和訳、光学に関する部分の和訳が掲載されているので、興味ある方は参照されたい。

一方、紀元後2世紀中ごろにアレキサンドリアで活躍したプトレマイオス(K. Ptolemaios)は『光学』を著し、水を満たした洗礼器(容器)に貨幣を置き、光の屈折を説明する実験を示している。「目の位置を、それから発して洗礼器の縁をすれすれにおる視覚光線が貨幣より高い点に達するように定めよ。(中略)水をしずかに洗礼器に注いでゆき、器のふちをすれすれに通る光線が下方へ折れて貨幣に達するようにせよ。すると、以前には見えなかった物体

が、目からその物体の真の位置より上方の点にいたる直線の方向に見える。(後略)<sup>3)</sup>」光線屈折のために貨幣が浅く見えることの説明である。ここで脇道にそれるが、下線部に注目してほしい。この時代まで、光線が目から物体のほうへ進むと考えられていたことがわかる。ところで、川本幸民の著した『気海観瀾広義』<sup>4)</sup>には、「ここに一試法がある。空桶内に金貨一片を置き、少し眼を退けて、その縁辺により金貨を見ることを遮り、ここに水を注ぐと、(後略)」そして代々天文方であった山路家の人たちにより1856年ごろに書かれた『遠鏡図説』<sup>5)</sup>(刊行されたか不明)には、「まず試みに、茶碗の中に一錢を投じて、水をその中に満たすときは、(後略)」などの記述がある。1700年後・江戸時代のわが国でも、プトレマイオスの洗礼器や貨幣が桶・茶碗や金貨・一錢に置き換えられて、光線の屈折現象が説明されているにすぎないのである。

プトレマイオスは、さらに度数目盛り付円盤を用いて入射角や屈折角を測定する実験を行い、10度ごとの入射角に対する屈折角を求めている。ちなみに、これから水の屈折率を計算すると、1.31(平均値)である。さらに空気とガラスについても実験を行っている。他方で、彼は半径1の円の弧とそれに対応する弦の長さを求める数表を作った<sup>3)</sup>。もし彼が屈折の実験データとこの数表を比較検討していたとすれば、入射の正弦と屈折の正弦の比が一定となること、すなわち屈折の法則を見いだしていたかもしれない。

中天游<sup>なかつてんゆう</sup>は、プトレマイオスの実験方法に似た方法で、光線が空気から水へ入射する際、入射角や屈折角を測定する方法を図示し、六等の差表(入射角と屈折角の数表、この呼称の由来について筆者は知らない)から屈折角を試算することを勧めている<sup>6)</sup>。六等の差表には、10度刻みの入射角で、気↔水、水↔水晶に対応する屈折角が表示されている。ちなみに水の屈折率を表から求めると1.3(入射角が30度の場合)となる。このような数表がいつのころからわが国

E-mail: h-fuji@mmm.muroran-it.ac.jp

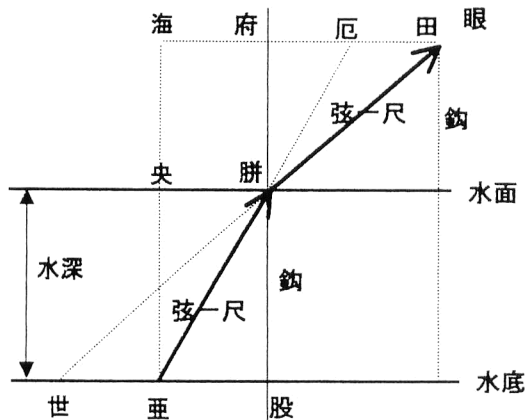


図1 屈光の図の説明：水底の垂点からの光線が水面の胛点で屈折して空気中の田点に至る。このとき、田点にある眼から垂点は世点に見える<sup>7)</sup>。

で使われ始めたのであろうか。『遠鏡図説』<sup>5)</sup>には「『<sup>れいだい</sup>靈台儀象志』に水気差等の六表がでてい、左の如し。水気差はすなわち光が水中より気に入って、斜めに気内に透る高度の差である」と述べられているが、水気差等の六表はおそらく『視学一步』の六等の差表と同じものであろう。参考までに、書名中の靈台とは天文観測用の物見台のことである。『靈台儀象志』(1738年と1742年に刊行)<sup>4)</sup>は中国の明末から清の時代にかけて天文学で活躍したイエズ会士・フェルビースト(F. Verbiest)の手によるものであり、わが国に舶載されたという。空気から水への入射角と屈折角の関係は水気差の六表とプトレマイオスの数値とはよい一致を示している。しかしながら、水気差の六表には密な物質から疎な物質への光の入射に対して、全反射にはまったく触れてはいないばかりか、臨界角以上の60度、70度、80度入射角においても屈折角は79度30分、94度36分、110度と記されている。

私筑忠雄は『<sup>しづきただ</sup>曆象新書』<sup>7)</sup>のなかで、光の屈折について「私は水中で屈曲する光の数(屈折率のことであろう)を茶碗の水で試みたが、図のようになることを理解した。」(図1)水底の垂点が世点にあるように見て、水中と水外に弦一尺に比例する長さを取り、光明の進路を求めている。水底股(=垂股)と水面股(=府田)はそれぞれ入射角の正弦と屈折角の正弦であるので、水面股/水底股=一定(=屈

表1 水から空気への光線の入射角と屈折角の粗測。

水底股(=垂股)	0.527尺	0.802尺
入射角	31.8度	53.3度
水面股(=府田)	0.584尺	0.910尺
屈折角	35.7度	65.5度

折率)が屈折の法則である。それらの測定データ(表1参照)から異なる入射角に対して求めた水の屈折率(=屈光の数)は1.11と1.13のほぼ等しい値を得ている。これらの値は実際の水の屈折率1.33よりも小さい。彼は「大概、水面股は水底股の(1+1/9)倍(=1.11倍)に比例するように見てとれる。しかしながら私が粗測したので、いまだにその的(=適)否を知らない<sup>7)</sup>と述べている。表1に示すように、異なる入射角に対して、水面股/水底股=1.11と述べているのであろう。彼は屈折の法則を理解していたのではないだろうか。ただし全反射は考慮していない。

ところが、計算に確信がもてなかったのか、「西域に視学家がいる。尼通(=ニュートン)はその名家である。私も視学のことを述べたものを一見したが、残念に思うことは、ただ一日の間だけであった。いまだに詳しく屈光の数を記したのを見てはいない。詳しくはもとより知らない。しかし右(=上)の屈光の説は、光明の引力があることを証明する一つである。引力でなくてどうして屈光することがあるだろうか」と結んでいる。参考までに、ニュートンの『光学』<sup>8)</sup>の第I編・公理Vでは、「入射の正弦は、屈折の正弦に対して正確にまたはほぼ正確に与えられた比になる」と記してある。(続)

## 文 献

- 1) 藪内清訳注：墨子(平凡社, 1996)。
- 2) ジョセフ・ニーダム著、東畑精一、藪内清監修：中国の科学と文明第7巻、物理学(思索社, 1991)。
- 3) G. ガモフ著、鎮目恭一、野上茂吉郎訳：物理学の探検(白楊社, 1992)。
- 4) 三枝博音編：日本科学古典全書6巻(朝日新聞社, 1942)。
- 5) 青木国夫、飯田賢一、石山 洋、大矢真一、菊池俊彦、樋口秀雄編：遠鏡図説、三才窺管、写真鏡図説(恒和出版, 1983)。
- 6) 中 天游：視学一步(日本学士院蔵)筆写本。
- 7) 三枝博音編：日本哲学全書第9巻「曆象新書」(第一書房, 1936)。
- 8) ニュートン著、島尾永康訳：光学(岩波書店, 1999)。