

# 江戸時代の光科学への関心 (5)

## — レンズにより形づくられた物影 —

藤原裕文

(室蘭工業大学工学部)

科学や技術の歴史に目を向けると、光学機器が科学や技術の歴史の節目において重要な役割を演じてきた例は多い。江戸時代後期の啓蒙思想家・司馬江漢は、「西洋の人は眼まなこ（の理）を解き、その天巧（＝自然の奇巧）を法り、眼鏡あるいは望遠鏡・顕微鏡の類を製する。皆ここに本いて作る」<sup>1)</sup>という。西洋の人とは、さしあたり17世紀初頭に活躍したケプラー（J. Kepler）を思い出すのが順当であろう。彼は円錐状光束の考え方をもち込んで、網膜上に倒立した映像が形成されるという視覚モデルを提唱し、さらにレンズから望遠鏡まで円錐状光束に基づいて像の形成を説明した<sup>2)</sup>。眼球の解剖学的知見やピンホール写真器の研究などを踏まえて、彼はこの像形成の考え方に達したといわれているが、これには異論もある<sup>2)</sup>。本稿では視学諸器のうち簡単な凸レンズによる結像をとりあげて、当時の幾何光学への理解の程度を推測する手がかりになればと思いつつ、先人達の言葉を借りて話を進めることにする。

光線の進路を作図してレンズによる結像を論じたのは、志筑忠雄が最初の人であったかもしれない<sup>3,4)</sup>。彼の著作『曆象新書』<sup>3)</sup>（1798年完成）に三角プリズムを組み合わせたレンズのモデルが図版入りで紹介されている。図1(a)に示す海央玖平良（凸レンズのモデル）と海央府伊（凹レンズのモデル）がそれである<sup>3)</sup>。「府伊を前面とすときは、光線は垂併世田に従う。（中略）いま前面が玖平良の中隆面であるときは、世点の光は田点に至らずに眼に来る。左右ともにその通りである。世眼の光は世淤の線と一直線をなすので、垂点を見ることは、淤点にあるようである。このとき、厄垂と眼淤とは互いに平行ではなく、宴眼淤の角は宴厄垂の角より大となる。故に垂厄垂を見ることは淤眼淤を見るようである。故に物皆大きく見えるものである。」<sup>4)</sup>といっている。かまぼこ型レンズの平らな面を新聞紙上に置いて、字を拡大してみるようなものをイメージ

すればよいのであろう。

また山路彰常・中西邦孚らの著した『遠鏡図説』<sup>5)</sup>（1856年完成）や帆足万里の著した『窮理通』<sup>6)</sup>（1835年）には、八方眼鏡（図1(b), (c)参照）において、物点戊からの光線は各面で屈折し、己（眼の位置）の1点にあつまり、戊の像を七所にみえることが記されている。さらに文献<sup>5)</sup>ではその指摘に続いて「今中高の玻璃は八方眼鏡を数万角に磨いた物のようにすれば、（中略）一個の戊象は己点に集まる。故に人目己よりこれを見ると、一点の物象を庚辛の大きさに見る。（後略）」と書かれている。戊にある点物体の像が己点に形成される点は初等的にわかりやすく説かれているが、「故に人目云々」という文は理解に苦しむ。それは別として、この説明の後に、戊点を中高の玻璃から遠ざけると己点はそれに近づくこと、さらに戊点を十分に遠ざけると己点は焦点（この用語を使っている）となること、己には倒立した実像が形成されることなどが、か

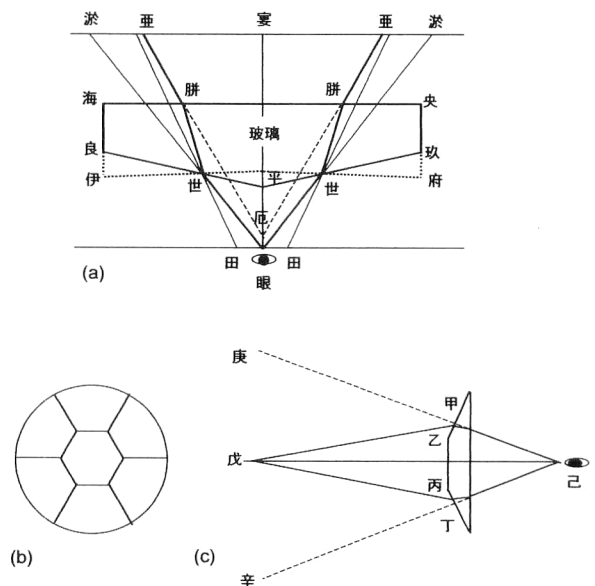


図1 (a) 組み合わせ三角玻璃による光線の屈折<sup>3)</sup>, (b) 八方眼鏡, (c) 八方眼鏡による結像<sup>5)</sup>.

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

かかれている<sup>5)</sup>。

江戸時代における最高レベルの窮理学書『気海観瀾広義』<sup>7)</sup> (1850年)を著した川本幸民は、2, 3の代表的光線を書いてレンズによる結像を考察している。物体が凸レンズの焦点(燃点という用語を用いている)の外側にある場合(図2(a)参照)、子戊に生じる実像を「暗処で見れば、なお直ちにその物を見るようである」と表現している。像を求めるために、物体の諸点から幾多の光線を引けばよいがかえって混雑する。これを避けるために、「物体の両端の点甲と己から発する光線が鏡面に触れるものの中で、最も外の甲乙と、鏡の中点丙を通り直行する中線甲丙戊(己に関する部分は省略)」を考えている。両線の間(例えば甲乙丙)にある百・千の筆頭状の光線群(今でいう光線束)に光錐または光筆という言葉をあてている。これはケプラーのいう円錐状光束(甲乙丁内に在る光線群)に相当する<sup>2)</sup>。続いて倒立像の形成を論じた条<sup>7)</sup>には、「甲乙は鏡にあたり乙戊にしたがって内屈し、戊においてほかの光線甲丙戊と出遇い、そこに物体の上端甲を見る。(中略)子において物体の下端を見るから、逆さまに物体全体を子戊に写す」と記されている。レンズの中心を通過する光線と、これに並行ではない光線の2本を作図して、その交点から像の位置と大きさが求められることを指摘している。今では一般に使われているこの方法は江戸時代の末に始まったことになる。

物体が凸レンズの焦点の内側にあるときに物体を明瞭にみるには、凸レンズを眼に近づけ、レンズで光線を折り曲げて眼に入る前に集合させ、ほどよく網膜上にこさせればよいという<sup>7)</sup>。代表的な光線の進路を図2(b)にかき、次のように説明している。「二光線甲一と甲丙の光錐のうち、甲一は一において鏡一に触れ、内に屈折し、(中略)進んで戊に至り、またなお一回屈折し凸球鏡を出て、戊庚に従って進んで、庚において眼に入る。(点乙二からの光線の部分は省略)他の光線甲丙、乙丙は直行して折れず、鏡の正中を貫き、壬、辛において眼に入る。ゆえに物体の二点甲乙より眼に入るものは、戊庚、丙辛、丙壬、己癸である<sup>7)</sup>。

「物体を見るには常にそれが在る所にあるように見ないのは、(中略)光線が屈折するとき、眼前にある線が方向を異にする」という。眼辺のこの光錐を考慮して、作図により虚像を求めている<sup>7)</sup>。すなわち「光錐・甲一丙を戊庚及び丙壬に従って平行に、正直に眼辺に引くときは、その線は三に会して、ここに点甲を見ることができ(光錐・乙丙二の部分は省略)。」こうして、虚像は「凸球鏡をもって物体を見ると思ふ所の点(三丁)」に生じる。

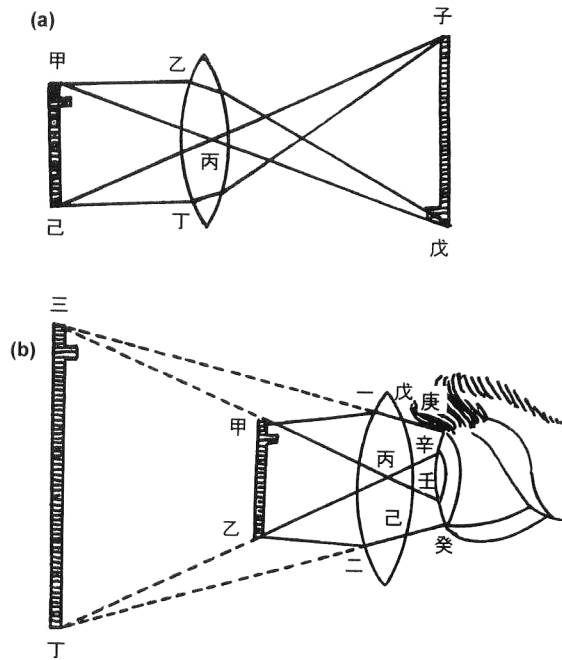


図2 凸レンズによる結像<sup>7)</sup>。(a) 物体が燃点の外側にある場合、(b) 物体が燃点の内側にある場合。

これまでに、主に凸レンズによる結像への理解の深まりの跡をたどってきた。江戸時代の末までに、レンズや反射鏡のほかにも、写真鏡、ケプラー式やガリレオ式の屈折望遠鏡、幻燈器、ニュートン式やグレゴリー式の反射望遠鏡、照明鏡を備えた顕微鏡などの結像も、定性的ながら論じられるようになったが、屈折の法則や結像に数学を適用するまでにはいたらなかった<sup>6)</sup>。この時代の翻訳を主とした窮理学者は近代科学の成果の前にながら、もう一步踏み込むことはできなかったようである。しかし歴史上の事跡を今日の視点から評価するには、いささか慎重でなければならないと思っている。

## 文 献

- 1) 司馬江漢著、沼田次郎・広瀬秀雄校注：洋学上「和蘭天説」(岩波書店、1976)。
- 2) 田中一郎著、伊藤俊太郎・村上陽一郎編：科学史1巻「IV-2 ケプラー光学の展開と近代視覚理論の成立」(培風館、1989)。
- 3) 志筑忠雄著、三枝博音編：日本哲学全書第9巻「曆象新書」(第一書房、1939)。
- 4) 大森 実：「志筑忠雄『曆象新書』の光学とその意義」, 法政大学教養部紀要21号自然科学編(1975)。
- 5) 山路彰常・中西邦孚編、青木国夫解説：江戸古典科学叢書38「遠鏡図説」(恒和出版、1977)。
- 6) 帆足万里著、三枝博音編：日本科学古典全書1巻「窮理通」(朝日新聞社、1944)。
- 7) 川本幸民著、三枝博音編：日本科学古典全書6巻「気海観瀾広義」(朝日新聞社、1942)。