

アルハゼンとケプラーにおける視覚像

—ケプラーの残した問題とデカルト・1—

持田辰郎

1. ケプラーとデカルト

デカルトの『屈折光学』について「ケプラーから借りたと責める者」がいたようである。ただし書簡の文面からすると、網膜像の形成についてではなく、第8講の楕円と双曲線についてであって、デカルトはケプラーとの差異を説明してその批判を斥ける。だが、その後、彼は「そのことは、私が、ケプラーが光学における私の第一の師であったと認めていること、そして彼がそれについてこれまでで最も認識した者の一人であると信じていることを妨げるものではない」と言う⁽¹⁾。

実際、 $\dot{\text{視}}\dot{\text{覚}}\dot{\text{像}}$ の解明をめざす学の古代からの長い歴史⁽²⁾の中で、ケプラーによる網膜像の発見は一時代を画す大きな出来事であった。デカルトも『屈折光学』第5講を網膜像の形成の詳細にあて⁽³⁾、自らの仕事の基礎としている。ハーヴェーの血液循環説とならんで⁽⁴⁾、デカルトが他者の科学的業績を受け入れ、自らの体系の一部とした顕著な例と言えよう。

もっとも、デカルトはケプラーに盲目的に従っているのではない。言うまでもなく、デカルトはスネルとは独立に彼自身が発見した屈折の法則⁽⁵⁾を手にしてしている。『屈折光学』という著作それ自体は「かの驚くべき眼鏡」、すなわち望遠鏡の作製の手引きとしてあり、その目的は「そのレンズの形を十分に定めること」である以上⁽⁶⁾、屈折の法則、およびそれに基づいた数学的処理の改善は決定的に重要である。この点において、デカルトが「第一の師」たるケプラーを越え出で、歩みをさらに進めていることは自明であろう。

だが、デカルトが歩を進めたのは数学的問題ばかりではない。これから見ていくように、ケプラーにとっては自らその形成の構造を解明した網膜像が一つの壁となり、彼はそこから先の視覚の成立を解明しえなかった。ケプラーは数学者ないし光学者として、網膜像に至った時点で歩みを終え、あとは「自然学者」の手に委ねざるをえなかったのである。これに対し、デカルトは、そのような壁などないかのごとく先に進み、「視覚がどのように起こるか」⁽⁷⁾を解き明かす。屈折の法則のみならず、網膜像の先に、あるいはその背後において、デカルトはケプラーを凌駕する。

デカルトは、ケプラーに歩みを止めさせた問題を正面から論じていない。問題にもしていないのである。1604年の『ウッチェロへの補足』から1637年の『屈折光学』へ、一世代の間に空気が変わったかのごとく、最も深刻な問題であったものがはや取り上げられさえしなくなる。何が変わったのか。両者の違いはどこにあるのか。その解明が本稿から始まる研究の課題である。紙

幅の関係上、本稿はケプラーが抱えていた問題のうち眼球内の部分の解明のみに限定し、網膜像以降の部分について、およびデカルトに関しては次号以降に譲ることとする。

2. ケプラーの問い

2.1 ケプラーの困惑

ケプラーは、『ウッテロへの補足』において、「眼の前の世界の半球全体ともう少しの像 (idolum) が、網膜の赤みがかかった白い凹状表面上に形成されるとき、視覚が生じる」と言う。網膜像である。だが、彼は直ちに付け加える。

この像ないし絵 (pictura) が網膜と神経に存する視覚の精気によってどのように結合されるのか、そして、それが脳の空洞内の精気によって魂ないし視覚能力の法廷の前に呼び出されるのか、あるいは視覚能力が、魂によって送られる治安判事のように脳の法廷から出て行って、下級審へ下りていくように視神経と網膜におけるこの像に出合うのか、そのような議論は自然学者 (Physicus) たちに残しておく。なぜなら、光学者 (Opticus) の装備では、眼において最初に生じるこの不透明な表面を越えて捉えられないからである⁽⁸⁾。

つまり、網膜における「像ないし絵」の形成は確言しうるものの、それが「魂ないし視覚能力」とどのように結びつけられるのか、すなわち視知覚成立のための網膜像以後の過程については、光学者たるケプラーは沈黙せざるをえず、自然学者の手に委ねざるをえない、ということである。

ケプラーは15年後、『世界の調和』において、この「昔の嘆き」を回顧する。すなわち、たとえ「この場所での視覚の様態 (modus videndi)」を「この上もなく堅固に証明した」としても、それは「網膜を越えては到達しない (non ultra retiformem tunicam sese porrigit)」のであり、それゆえ、「網膜上に生ずるところの見ているものの像が、いかにしてそこからさらに肉体の不透明な諸部分を通して心の内部へ受け入れられるのか」という問いを「自然学者たちに投げかけた」のであるが、今なお解明されず「残っている」と言うのである。ケプラーが「率直に言う」ところによれば、網膜像以後のこの問題は「光線の角度の知覚 (の問題) 以上に当惑させる」ものであり、というも後者については「何か不適切でないことを語りうる」のに対し、前者については「全くのところ沈黙するしかない」からである⁽⁹⁾。

もっとも、実際には、ケプラーは網膜像以後の過程についてまったく沈黙しているわけではない。たとえば『屈折光学』は「この絵は、網膜によってそのように受け取られた形象 (species) が精気の連続性を通して脳へ移り、魂の能力の入り口に届けられるまで、視覚の作用を完遂しない」と言う。つまり「脳の内には何であれ共通感覚と呼ばれる何ものかがあり、そこに視覚の道具である形象が刻印されるのであり、それは見えるものから光によって描かれる」のである。すなわち、網膜に描かれた像は精気を経て脳内の共通感覚に刻印され、それではじめて視覚が成就すると想定されているわけである。しかし、ここでもケプラーは直ちに付言する。「この刻印は理解から隠されている (impressio haec est occultae rationis)」と⁽¹⁰⁾。

では、なぜ「隠されている」のか。ケプラーを「当惑させ」、「沈黙させ」た問題⁽¹¹⁾とは何であったのか？ まずもって、光は網膜を越えて透過せず、したがって網膜以降の過程は光線の幾何学的分析に服さないことが挙げられなければならないだろう。「この隠れた道行き」は「不透明で暗い部分を経て為される」。また「細長い中空の神経それ自体、光学的に真っ直ぐではない」。媒体として想定されている神経を満たしている「精气」も「体液や他の透明なものとはまったく異質」と見なさざるをえず、「光学的物体ではない」。要するに、光は不透明で屈曲した神経を透過できず、それゆえ「硝子体の後方表面で貫通も屈折もせず、突き当たってしまう」のである。したがって、「いかなる光学的な像もここを通過できない」のであって、網膜上に形成された像もその行き場を失うこととなってしまう。すなわち、網膜以降の過程は「光学的法則の埒外」にあって、それゆえ我々には「隠されて」いるのである⁽¹²⁾。

むろん、光学的に解明されないとしても、網膜像ないしそこに与えられた何らかのものが何らかの仕方で脳に伝達されているのであろう。あるいは脳の、魂の側から何らかの働きかけがあるのかもしれない。いずれにしても、網膜と脳はつながっているはずである。だが、連結が想定されたとしても問題は残る。言うまでもなく、我々の視知覚は網膜像のとおりではないからである。一つの網膜像それ自体、反転し倒立している。その上、眼は2つあり網膜像も2つ形成されるのであるが、我々は2つのものを見ているのではない。それらは共通感覚ないし視覚キアズマにおいて統合されなければならない。すなわち、網膜と脳の連結の仕方は、2つの反転・倒立像から1つの正立像へのこの変換を説明するものでなければならないのである。ケプラーは網膜以降の過程の解明を「自然学者」の手に委ねたのであり、そうである以上、反転・倒立問題も、2つの像の統合問題も、その解明を事実上放棄したことになる。

2.2 像の反転・倒立問題とケプラー

ケプラーをとりわけ悩ませたのは反転・倒立問題であった。と言うのも、この問題については眼球内で、すなわち網膜以前の光学的分析の及ぶ範囲内で回避する可能性が残されているからである。彼は正直に告白する。「ブドウ膜の入り口の穴で右が左にされた（視覚）円錐が、水晶体の背後、硝子体の中央でもう一度切り落とされ、そのためもう一つの逆転が生じ、左にされていたものが網膜に到達する前に再び右にされる」ことを示そうとし、その探求が「この私を、長い間まったく苦しめた（ego diutissimè sanè me torsi）」、と。すなわち、彼は、眼球内で光線を再度反転させて正立像を得ようと「長い間」必死で努力したのである。そして、それが不可能であるという結論に到達するまで、「この無益な労には終わりがなかった（nec finis huius inutilis curæ）」と言う⁽¹³⁾。

ケプラーは、眼球内でのこの問題の回避を結局放棄したのであるが、これから見ていくように、網膜像の発見という彼の一大業績を可能にしたのは、この放棄によってであると言うこともできよう。言うまでもなく、反転・倒立問題は歴史的な問題であり、彼の先人たちが網膜像の形成に到達しえなかった一要因がそこにあるからである。

3. アルハゼンから受け継いだもの

3.1 内送理論

ケプラーが直接批判の対象としたのは、著作の題名にあるようにウィテロ（1250頃-1275）であるが、ウィテロはアラビアのアルハゼン（965-1039）の信奉者であり、その理論の西洋へ紹介者であった。ケプラーの時代、光学において支配的であったのはウィテロとともにロジャー・ベーコン（1214頃-1292）、ペッカム（1230代半ば-1292）等の13世紀のいわゆる「遠近法論者（perspectivus）」⁽¹⁴⁾たちであり、彼らはいずれもアルハゼンの理論を基礎としていた。1572年にはリスナーの編纂によるアルハゼンの著作のラテン語訳とウィテロのものを合冊した版が『光学の宝庫』として出版され、ケプラーが手にしていたのもこの版であった⁽¹⁵⁾。したがって、ケプラーが克服すべく苦闘したのは、その表現は誰のものであれ、アルハゼン理論であったと言ってよいであろう⁽¹⁶⁾。

もっとも、ケプラーがアルハゼンから受け継いだものも大きい。網膜像の形成の発見それ自体が、基本的にアルハゼンの思考の枠内で為されているのである⁽¹⁷⁾。むろん、結論は修正されたのであり、それは重要な修正であった。しかし、それを可能にした枠組みは当時広く受け入れられていたアルハゼン理論である。そこから受け継いだものを確認することにより、それとの差異、ケプラーの仕事の意義も明らかになるであろう。

ケプラーがアルハゼンから受け継いだものとして、まずもって挙げなければならないのは、視覚の内送理論であろう。我々の視覚が成立するのは、世界から、対象から何らかのものが伝達されるがゆえにであって、知覚者はその受容者である、という立場である。現代人にとっては違和感のない主張であり、また古代ギリシャにおいても原子論者たちはこの見解を採用していたのであるが、歴史的に常に優勢であったわけではない。これと対立するのは、視覚を眼から対象に向かって発出する視感光線等々によって説明しようとする外送理論であるが、アリストテレスはエンペドクレスにこの外送理論を帰している⁽¹⁸⁾、プラトンが『ティマイオス』において述べるところもそのように解しうるのである⁽¹⁹⁾。その上、視ることに関する医学的分析の権威ガレノス、数学上の権威ユークリッドが、差異はあるとはいえいずれも外送の立場なのである。アラビアにおいてもアル・キンディ（8世紀後半-866）は外送論者であり、アルハゼンはアヴィンセナ（980-1037）とともに内送理論を擁護して闘ったのであった。いずれにせよ、古代からケプラーの時代まで、内送、外送両論間で激しい論争が存在したのであるが、内送側を優勢にしたのはアルハゼンであり、西洋において勢力を転換させたのは彼の紹介者たちの功績と言ってよいであろう。

ただし、ケプラーは内送の決定的証拠として、デラ・ポルタ（1535-1615）が『自然魔術』で紹介するカメラ・オブスクーラ（暗箱）の実験を挙げ、これをもって「視覚がもたらされるのは受容によるのか、発出によるのかというかの論争は終わった」とし、ポルタをそのことに「あなただけが気づき、精査し、適切に公表した」⁽²⁰⁾と称賛する。カメラ・オブスクーラの考察がケプラーの発見の基礎であることは明らかであり⁽²¹⁾、これを内送の証拠として挙げてあるものは、ケプ

ラーの目に触れる限り、ポルタだけであったのであろう⁽²²⁾。だが、ポルタ自身の視覚の説明は、ケプラーがその直後に批判しているように⁽²³⁾、まったくアルハゼンのみである。いずれにせよポルタの功績は、せいぜいのところ、アルハゼンたちの内送思想圏の枠内での実験的証拠にまつわるものしか挙げえないであろう。

3.2 点状の分析と一対一対応

ケプラーがアルハゼンから受け継いだものは、内送という立場だけではない。彼は、網膜像の解明に至る幾何学的手法の基本的理解も、その多くをアルハゼンたちに負っている。きわめて概略的に言えば、古代においては内送理論と言っても、対象物体の「形相」、「形象」ないし「類似」等々と呼ばれたものが一括して、いわばまとまって知覚者に伝達されるというものであった。そのような構図では、対象から知覚者への伝達を幾何学的に解明することは困難である。幾何学的に分析可能な点や線の次元での考察に転換されなければならない。内送理論内でこのような転換をもたらしたのはアルハゼンであった⁽²⁴⁾。

我々は対象物体の各点から全方向に放射される光を受け取るのであって、それゆえ分析の出発点は点である。また、光は直線に沿って進むのだから、その点から直線が引かれねばならない。それゆえ、アルハゼンにとって「色着けられ照らし出された物体の表面上の任意の点から、その点から引かれる任意の直線に沿って、光と色の形相 (forma) が発出する」⁽²⁵⁾ということが出発点であり、幾何学的分析の基礎となる。このような点への分析から始まる手法を、Lindbergに倣って「点状の分析」と呼ぶこととしよう⁽²⁶⁾。

しかし、「光と色の形相」はあらゆる点からあらゆる方向に放射されるのだから、知覚者の側から言えば「一つの見えるものの諸部分が様々な色からなるとき、それら (諸部分) の各々から光と色の形相が眼の表面全体に到達する」こととなる。すなわち、光の受容を一旦眼の表面で区切って考えるとしても、対象のすべての点と眼の表面のすべての点が光線によって結ばれることとなる。それゆえ、「そのようにして、それらの部分の色は眼の表面において混ぜられる」⁽²⁷⁾こととなる。これでは対象物体を識別することは不可能であろう。それゆえ、アルハゼンの課題は、余剰となる光線を処理し、対象の各点と眼の何らかの場所における各点との間に一対一対応を確立することである。それによって、ベーコンの表現によれば、「見えるものの諸部分の形象 (species) は、感覚器官の表面において、もの自体において諸部分が秩序づけられているように秩序づけられる」⁽²⁸⁾こととなる。すなわち、一旦点として分解された対象物体は、同じ秩序のもとにある光と色の連なりとして知覚者のうちに再現される。すなわち、ケプラーと同様、眼球内に何らかの像が描かれることとなるのである。

細部や表現の差異を別とすれば、ここまでのすべてをケプラーは受け入れている。彼にとっても「任意の点から数において無限の (光の) 線が発出する」⁽²⁹⁾ことが出発点であり、そして「一つの見える点からのすべての光線は、最終的にまったく一つの点に集束する」⁽³⁰⁾こと、すなわち一対一対応の解明を経て、「視覚は、網膜の白くて凹状の壁の視られるもの絵 (pictura) によってもたらされる」⁽³¹⁾と結論することになるのである。

4. アルハゼンと反転・倒立問題

4.1 垂直光線への限定と水晶体前表面の像

ケプラーがアルハゼンたちと袂を別つのは、その一対一対応の仕方と、その結果としての像の位置であった。というのも、アルハゼンは、眼に、正確にはその水晶体前表面に垂直に降りかかる光線のみ限定することによって、対象物体の各点との一対一対応を確立したのである。水晶体前表面のどの点にとっても、表面に垂直な直線は一本しかない。それゆえ、その直線と対象の交点、すなわち眼のその点に入る光源は一つしかないことになる。それ以外の、斜めの、眼に対し屈折して入射せざるをえない光線をすべて余剰として無視すれば、対象の各点と水晶体前表面の各点は一対一対応をすることとなる。以上の論理を、アルハゼンは率直に述べる。

もし氷状体（水晶体）⁽³²⁾ が一つの点において、あらゆる斜めの線に沿って到達するあらゆる形相を感覚するならば、それはあらゆる点において、多くの異なる形相の混成から、そしてその時点で眼の反対側にある見えるものの多くの色の混成から生じた形相を感覚することになる。そのようにして、見える対象の表面上の点は区別され（distinguer）ず、またその点にやって来くる形相の点は（適切に）配列され（ordiner）ない。しかし、氷状体がその一つの点において、一本の線に沿って到達するものだけを感覚するならば、見えるものの表面上の点は区別される⁽³³⁾（強調筆者）。

したがって、氷状体前表面の各点に入射する「あらゆる線」から、「一本の線」が選定されなければならない。ところで、

眼の表面の任意の点において、同時に視野のあらゆる点の形相が入るが、... しかし、一つの点のみの形相が真っ直ぐに（rectè）（すなわち垂直に）眼の被膜の透明性に入る。...（視野の）あらゆる残りの点の形相は眼の表面のその点で屈折し（refringor）、斜めの線に沿って眼の被膜の透明性に入る⁽³⁴⁾。

そして、「氷状体の一つの点に、ある時点で屈折して（受け取られる）形相の数は多く無限定である。そして、形相が垂直の直線性において入射するのはただ一点のみである」。それゆえ、選ばれるべきは屈折なしに垂直に入射する光線である。「したがって、垂線に沿って到来する形相は他の形相から区別される」⁽³⁵⁾。ベーコンの表現によれば、「視覚の変状のためには、主として、... あらゆるそれらの（光）線がそれ（眼）に垂直になっていることだけが必要とされる」⁽³⁶⁾のである。

このようにして、対象の各点と水晶体前表面の各点が一対一に対応するならば、前者の「部分の配列」は維持される。すなわち、アルハゼンによれば「見られうるものの形相は水晶体液によって受け取られる」、あるいは「形相はその表面と内部に、かすかであるが形成される（fingor）」こととなる⁽³⁷⁾。つまり眼球内に対象の像が形成されるのだが、その位置は網膜ではなく、眼の表面に最も近い水晶体前表面である。

その位置はともかく、眼球内に対象の像が形成されることは、内送理論を保持するために決定的に重要なことであった。というのも、ベーコンによれば、これによって「ものの形象は、たと

えどんなに大きくても、きわめて小さな空間に秩序をもって配置されうる」こととなり、「瞳が小さいことから由来すると思われている視覚の錯乱」⁽³⁸⁾が解消されることとなったからである。古来、内送理論には、大きな物体の像がどのようにして小さな瞳の中に入りうるのかという反論がつきまわっていた⁽³⁹⁾。幾何学的分析を伴わない内送理論によってこの反論に答えることは不可能であった。アルハゼンは内送理論にはじめて幾何学的裏付けを与えた⁽⁴⁰⁾のであり、その意味において卓抜した解決であって、垂直光線に限定すること、水晶体前表面の像はアルハゼン派の共有財産となったのである。

4.2 硝子体における屈折

対象からの垂直光線のみによって水晶体前表面に像が描かれるという理論には、一つの長所があった。この像は、反転も倒立もしない正立像である。「形相相互の部分の位置、すなわち氷状体の表面に達する形相相互の部分の位置は、見られるものの表面の部分の位置にある」。だが、アルハゼンは「視覚は、氷状体の表面にある形相が共通神経に到達した後でしか完遂されない」⁽⁴¹⁾ことも受け入れるのであって、そうであるならば、せっかくのこの正立像は水晶体前表面以降も保持されるのでなければならない。この過程を、まずは眼球内に限って見てみよう。

眼の表面に垂直に降り注ぐ諸光線は、そのままであれば眼球の中心ですべて交差する。「もし形相が光線の直線に沿って拡がるならば、眼の中心に集められ、あたかも単一の点のごとくであるであろう」。そしてさらに進み、「中心を通して通過するならば、それはそれが沿って拡がる交差している線の逆転に従って裏返される」こととなろう。水晶体前表面で得られた正立像は、眼球内ですでにして反転・倒立してしまうのである。「右であるものは左になり、そしてその逆であり、上であるものは下に、下は上になる」⁽⁴²⁾。

この不合理、「視覚の誤謬 (error visus)」⁽⁴³⁾を回避するためのアルハゼンの工夫は、光線を交差しない方向に屈折させるというものである。彼は言う。「視覚が完遂されるのは、氷状体の表面からたどり着いた形相が屈折した後でしかない」。そして「この屈折は、それが中心に到達する前に起こらなければならない」。それゆえ、その屈折の場所は水晶体と硝子体との境界面しかないであろう。アルハゼンは言う。

形相が屈折されるのは氷状体 (=水晶体+硝子体) の内部 (corpus glacialis) の移行においてでしかないことが帰結する。… 氷状体の内部は異なる透明性をもち、硝子体液 (humor vitreus) と呼ばれるその後ろの部分は前部 (=水晶体) とは異なる透明性をもつ。氷状体において、硝子体の内部以外では、前の内部の形と異なる形の物体はない。始めの物体とは異なる透明性をもつ別の物体に出合うときに屈折するということが、光と色の形相の性質である。したがって、形相が屈折するのは、ただ硝子体液に到達する際においてのみである⁽⁴⁴⁾。

4.3 像の反転・倒立問題

注目すべきことは、この硝子体における屈折が、解剖学的事実と符合させようとしているにしても、そこからの帰結でも、幾何学的分析の結果でもないということであろう。まず屈折あり

き、なのである。この論理は、より明快な表現においてベーコンにも受け継がれる。「この誤謬が避けられ、右側の形象がその側に沿って進み、左側がその側に、そして他も同様であるためには、このような集中を避ける何ものかが氷状体前部とその中心の間になければならない」。反転・倒立、光線の交差の回避が議論の出発点である。「それゆえ自然はその性質上、異なる透明性と異なる中心をもつ硝子体液を氷状体の中心の前に置き、そこで屈折が起き、光線の錐体が氷状体前部の中心における集中から遠ざけられる (elongor) ようにしたのである」⁽⁴⁵⁾。この屈折が、水晶体前表面において得られた正立像を保持するためだけの、それゆえきわめてアド・ホックなものであることは明らかであろう。

アルハゼンはカメラ・オブスクーラによって示される事実を知っていた。しかし、彼はそれを「光は空中で混ぜられない」ことを示すためのみに用い⁽⁴⁶⁾、ケプラーのようにそれを眼球の構造に適用して考察しようとはしない。すでに見たように、ケプラーはポルタを、カメラ・オブスクーラの意味するところに「あなただけが気づき、精査し、適切に公表した」と称賛し、他の者はそれを「正当な場に委ねることができなかった」⁽⁴⁷⁾と批判しているが、それも故なきことではない。だが、正立像に固執しつつ、それを点状の幾何学的分析に基づいて説明しようとする者たちにとって、明らかに反転・倒立が発生するカメラ・オブスクーラの実験を眼球に適用することは不可能なのである。安易に「像 (idolum) は、窓の穴のような瞳孔によって内送され、眼の中央に置かれた水晶の球体の部分が (スクリーンとなる) 板の代わりをする」と言えるのは、幾何学的分析に頓着しないポルタのような者だけなのである⁽⁴⁸⁾。

5. ケプラーのアルハゼン理論批判

5.1 眼に斜めに入射する光線の問題

内送される「形相」を点状の分析によって眼の表面に描かれるある種の像として示すことによって、アルハゼンは内送理論に幾何学的根拠を与え、強い説得力をもたせることとなった。しかし代償を払わなければならなかった。視覚を生じさせる光線を眼に垂直に入射するもののみ限定せざるをえなかったのである。対象の各点と眼の像の各点を一対一に対応させるための要請であり、これまたアド・ホックな議論と言わざるをえない⁽⁴⁹⁾。斜めに入射する光線はなぜ無視しうのか。ケプラーがアルハゼン理論を乗り越える突破口もここであった。

だが、垂直光線に限定することにまったく理由がないわけではない。アルハゼンは機械論的な類推から論ずる。薄い板に鉄の球をぶつける場合を考えてみよう。もし「球の運動が板の表面に対して垂直線に沿っている」ならば「板は球に (道を) 譲るか破壊される」であろう。しかし「板に対し斜めの位置」からぶつけたとしたり、球は「別の方向の方にそらされるであろう」。剣で竿を切り落とす場合も同様である。剣が「竿の表面に対して垂直である」ならば完全に切り落とせるのに対し、「もし斜めであるならば、… 竿は完全にではなく、おそらく部分的に切り落とされるか、あるいはおそらく剣がそらされるであろう」。「垂直に沿った運動はより強くてより容易」なのである⁽⁵⁰⁾。ベーコンの表現によれば、「不等な角度の落下は形象を弱め、屈折も同様

であり、そして垂直な歩みは強力なので、それゆえ垂直な形象は傾いたすべてを隠す (*species perpendicularis occultat omnes declinantes*)⁽⁵¹⁾ のである。

しかし、なぜ「隠す」のか。垂直な力が最も強力であることを認めたとしても、それ以外のものはなぜゼロなのか。アルハゼンは言う。

垂線に沿って到達する光の作用は、斜めの線に沿って到達する光の作用よりいっそう強い (*fortior*)。したがって、氷状体が任意の一点において、垂直の直線性に沿って到達する形相のみ (*tantum*) を感覚することは適切である⁽⁵²⁾ (強調筆者)。

なぜ「いっそう強い」が「のみ」になってしまうのか。問題はここにある。アルハゼン自身、「垂直に沿った運動はより強くてより容易」と述べた直後に、「垂直にいっそう近い斜めの運動は、いっそう遠いものより容易である」と続けている⁽⁵³⁾。斜めといっても、より垂直に近いものから大きく斜行するものまで角度の程度がある。角度によって強さの比較ができるなら、すべてがゼロではないだろう。

ここにアルハゼンや彼に従う遠近法論者たちのアキレス腱がある。何らかの弥縫策が必要である。アルハゼン自身の場合は、結局「眼の皮膜で屈折されるすべての形相は眼によって把握され、感覚の力によって感覚される」ことを認めつつも、「眼の被膜で屈折されるすべての形相は眼によって、眼の中心から発出する直線に沿って把握される」と言う⁽⁵⁴⁾。すなわち、垂直ではない光線は、あたかも垂線に沿ってであるかのごとく把握される、と言うのである。

ベーコンは、アルハゼンに倣いつつ、いっそう精緻に議論を展開する。彼は、「真っ直ぐな光線と反射する光線によって見られるものは何であれ、同時に必然的に屈折する光線によって見られる」ことを認めるのみだけではない。「そのようにして、二重の仕方で見られるのだから (*quia duplici modo*)、いっそう確実に (*certius*) 見られる」と言うのである。あるいは屈折する光線によって「視覚はおおいに改善され完成される (*melioratur et completur*)⁽⁵⁵⁾、「視覚はいっそう豊かに (*abundantius*) なる」とも言われる。なぜか。その理由は、「垂直な形象が眼の一点にそこから到来する (= 起点となる) ものの一点から発出する諸光線は、たとえ直接にはその (眼の) 点ではなく他の点に降り注ぐとしても、しかしながら、眼の皮膜における屈折によって、ものの同一の点から眼に垂直に到来する形象が達するのと氷状体と共通神経の同じ場所へ (*ad eundem locum*) 到達する⁽⁵⁶⁾ からである。すなわち、対象の同一の点から拡散した光線は、眼の中の同一の点に集束するということであり、その集束の位置は異なるものの、「一つの見える点からのすべての光線は、最終的にまったく一つの点に集束する⁽⁵⁷⁾ というケプラー理論の基礎とまったく同じ構造なのである。光線の集束によって視覚が明晰になるという主張もケプラーと同じである⁽⁵⁸⁾。

もっとも、光線の集束位置が異なるということは、幾何学的説明が不十分であることを意味する。アルハゼンを紹介することによって、西洋に屈折概念を導入した先駆者たちの一人であることを考えるならば、やむをえないと言えるかもしれない。しかし、彼らの基本的立場、垂直光線に限定することによって水晶体前表面に像を得ることとの不整合は明らかと言わざるをえない。

アルハゼンや彼に従う遠近法論者たちに対するケプラーの突破口は、斜めに入射する光線のこ

の扱いであった。批判の直線の対象はウィテロであるが、彼はまずもって垂直な光線に限定することの不合理を突く。

さて、ウィテロが彼の似姿 (simulachrum) を垂直光線のみによって形成していることについてだが、彼が垂直光線とそれにまったく隣接した光線との間をこれほど鋭敏に区別しているのは奇妙である。… 垂直光線とそれに隣接した光線は、後者はほとんど屈折していないのだから、照らすことにおいてほとんどまったく異なる。したがって、垂直光線とそれに隣接した光線の受容ないし感覚することはほとんど等しい。そういうわけで、感覚は混乱に投げこまれ、そしてウィテロの努力は無駄であった⁽⁵⁹⁾ (強調筆者)。

しかしながら、ウィテロたちは「経験がまことに明らかに実証するところ」に従って、「斜めの光線にも何らかのものを割り当てる」⁽⁶⁰⁾ のだが、斜めの光線を排除したときの論理をそこに適用するならば不合理は明らかであろう。ケプラーは続けて言う。

私は、光線のこのまさしく混乱によって、ウィテロを論破する。なぜなら、彼が言うところでは、斜めの光線が垂直な光線と（眼の内）と交差する限り、斜めの光線も見られるからである。したがって、（眼の）同じ点が斜めの光線と垂直な光線の双方を受け取ることになる。したがって、2つのもの（斜めの光線と垂直な光線のそれぞれの点光源）が同じ箇所位置していると判断されるであろう⁽⁶¹⁾。

5.2 再び、像の反転・倒立問題とケプラー

アルハゼンたちの斜めに入射する光線の扱いには、明らかに無理があった。そのことに気づいたケプラーは、すでにしてアルハゼン理論に留まりえない位置に到達していたと言うべきかもしれない。

しかし、ケプラーは点状の分析という手法をアルハゼンたちから受け継いでいる。また、彼が解剖学研究の経験を欠くことは自ら認めるところであり⁽⁶²⁾、眼球の構造に関し少なくとも同時代のアルハゼン派たち以上のものを持っているわけではない。また屈折それ自体に対する理解も特に変わるわけではない。先行者や同時代人たちとの共有財産を保持したままで、眼に斜めに入射する光線をも適切に扱おうとするならば、対象上の各点から発出する幾多の光線が網膜上の焦点に集束することは、そしてそのような焦点をたどればそこに像が見いだされることは、基本的に幾何学的必然性に属する事柄である。ただし、言うまでもなくそれは反転・倒立する。

あるいはむしろ、網膜像がなぜケプラーに至るまで見いだされなかったか、と問うこともできよう。アルハゼンたちが網膜像の可能性を検討していたという兆候はない。ただ、ベーコンが斜めの光線を一点に集束させていることを見れば、あと一歩の感は否めない。しかし、実のところ、硝子体で屈折させてまで正立像を保持しようとする姿勢を見るならば、彼らを網膜像へ導く道は始めから閉ざされていたのであって、その際の障壁が反転・倒立問題であったことは明らかであろう。

ケプラーが乗り越えるべく格闘した先行理論がこのようなものであるとすれば、彼がこの反転・倒立問題に長い間苦闘したことも理解されよう。彼も正立像を得んとして、ただし彼の場合

は「水晶体の背後、硝子体の中央で」、「もう一つの逆転が生じ、左にされていたものが網膜に到達する前に再び右にされる」べく無益な努力を続けていたのである⁽⁶³⁾。正立像の保持ではなく再逆転による正立像の獲得という差異はあれ、アルハゼンたちの硝子体における屈折という図式に従っていたことは明らかであろう。先行者たちと分析の構図を共有するケプラーにとって、斜めの光線が無視することの不整合か、反転・倒立という不都合か、どちらかの立場を選ばざるをえない状況だったのである。双方の困難を理解したケプラーは、「長い間」、眼球内での再逆転という第3の道を模索していたわけである。

それも幾何学的に困難であるとなると、彼に残された道は反転・倒立問題を捨て去る、あるいは事実上無視することしかないのである。ポルタのカメラ・オブスクーラの実験は、その選択へ導く誘因であったことであろう。

実は、ケプラー自身、網膜像が反転・倒立していても問題はないと自説を弁護している。彼は、「この絵の反転 (*inversio huius picturae*) に煩わされ、そのことが反転された視覚を導くのではないかと恐れている」読者に対し、網膜像は全方向において逆転していること、すなわち左右の反転のみならず、上下も倒立していることを考察するよう求める。「位置は完全に反対となっている」のだから、「鏡において見られる」ような左右反転像を得ることはならないであろう。「したがって、ウィテロがきわめて熱心に避けようとしていたいかなる不合理も、反転された絵によって犯されることはない」と言うのである⁽⁶⁴⁾。

しかし、この弁護は充分な説得力をもたなかった。ケプラーの書を読んだある友人は、彼に次のように言う。

あなたが巧みに、そしてエレガントに (*doctè et eleganter*) 説明された視覚の様態は、その努力においてあなた以前にこの問題について書いた誰をも凌いでおります。私はすでにJ. バプティスト・ポルタによる暗い部屋 (*camera tenebricosa*) の使用を見ていたものですから、... 私は、視覚が網膜上での見えるものの形象の受容によって達成されることを常に信じておりました。しかしながら、私は若干の疑いを抱いておまして、なぜならそこではすべてが反転されて受け取られるのに対し、視覚はそのままに (*directè*) 起こるのであります⁽⁶⁵⁾ (強調筆者)。

この文面をそのまま信じるならば、ポルタのカメラ・オブスクーラによって、ポルタ自身は水晶体前表面の像を主張していたにもかかわらず、網膜像が受け入れられる下地はすでにできていたことになる。ケプラーの功績は、それを「巧みに、エレガントに」、すなわち幾何学的に解明したことであろう。ただし反転・倒立に関する疑念を払拭することはできなかった。

全方向において逆転しているのだから不合理は生じないというケプラーの弁護は、議論の筋としては正当であろう。しかし、それが説得力をもつのは、網膜像と我々の視覚の関係が十分に解明された上での話である。もし網膜像が解釈されるのではなく、それ自身において見られるとするならば、全方向に逆転された像も、左右方向のみ反転した鏡像に劣らず「不合理」であろう。

ケプラー自身、「絵のように、そのように見る (*ut pictura, ita visio*)」⁽⁶⁶⁾ と言う。網膜像理論が

反転・倒立問題を解消しようとするならば、克服すべきは視覚像に対するこのような立場であろう。ただし、そのためには網膜像以降の視覚の成立過程が解明されなければならない。その過程において、反転・倒立問題とともに、2つの眼による2つの像が統合され一つの視覚が成立することも明らかにされなければならない。網膜以降の、「暗く」、「真っ直ぐではない」、「隠れた道行き」に向かわなければならない。ケプラーが光学者として立ち止まらざるをえなかった地点から先に進まなければならないのである⁽⁶⁷⁾。

註

- (1) デカルト, 1638年3月31日付メルセンヌ宛書簡(AT-2:85:24-86:12)。デカルトからの引用は、すべて“*Cœuvres de Descartes*”, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, nouvelle présentation, 11 vols., 1964-74, Parisより。以下“AT”と略記して、上記のように巻数、ページ数、行数を順に:で結んで表示する。他に、1635年11月1日付ホイエンス宛書簡において、「ケプラー以後、この題材で最も有名なガリレオとシャイナーの理論」(AT-1:331:13-14/593:2-3)という表現のうちにケプラーの名が挙げられている。
- (2) David C. Lindberg, “Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler”, 1976, ChicagoおよびAlistair C. Crombie, “The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision”, in “Science, Optics and Music in Medieval and Early Modern Thought”, 1990 (初出は1967), London, pp. 175-284参照。本稿はとりわけ歴史的研究において両著に多くを負っている。以下、それぞれLindberg, Crombieと略記する。
- (3) 『屈折光学』第5講(AT-6:114:15-115:8)。『人間論』ではわずかに触れているだけである(AT-11:159:21-26)が、視覚についてのその後の議論の前提となっている。
- (4) 『方法序説』第5部(AT-6:50:19-52:2)。
- (5) 『屈折光学』第2講(AT-6:93:6-96:30)。
- (6) 同第1講。引用は順にAT-6:81:9, AT-6:82:19-20。
- (7) 同(AT-6:83:6)。
- (8) 『ウツェロへの補足』第5章第2節(GW-2:151:34-152:6)。ケプラーからの引用はすべて、Johannes Kepler, “*Gesammelte Werke*”, ed. by Walther von Dyck and Max Casper, vol. 21, München, 1937-2002より。以下“GW”と略記して、上記のように巻数、ページ数、行数を順に:で結んで表示する。なお、『ウツェロへの補足』には仏訳がある。“*Kepler, Paralipomènes à Vitellion*”, tr. par Catherine Chevalley, Paris, 1980。また、Crombieの註(2)の書, pp. 285-322に第5章第2節の解説と英訳がある。
- (9) 『世界の調和』第4巻第7章(GW-6:274:19-34)。
- (10) 『屈折光学(Dioptrice)』命題61(GW-4:372:32-373:3)。デカルトの書の題名は、ケプラーのこの書のものから受け継がれていると思われる。
- (11) Gérard Simon, “La théorie cartésienne de la vision, réponse à Kepler et rupture avec la problématique médiévale”, in “Descartes et le Moyen Age”, ed. par Joël Biard et Roshdi Radhed, Paris, 1997, pp. 107-117は、本稿から始まる我々の研究と同様、この問題をデカルトの視点から扱っている。
- (12) 『ウツェロへの補足』第5章第2節(GW-2:152:10-26)。直後に、精気による刻印について「この刻印それ自体、光学ではなく自然学と驚異の学(admirabilis)に属する」(GW-2:152:41-153:1)と、またしばらく後では「光を受け取りはつきりと感覚するのは、皮膜ではなく、また神経ですらなく、精気、確かにおそらくいっそう神的な何ものか(aliquid fortasse divinius est)であって、それで私は先に光学者によって探求されうることを否定したのである」(GW-2:184:8-10)とされている。もっとも、本文引用箇所の欄外註では、「し

- かしながら、光学という言葉がもたらされたのは、視覚をもたらすこの運動からである。それゆえ、我々の知識の不足によって光学のうちに保持できないからといって、それを光学から除外するのは正当ではない」(GW-2:152:欄外)とも言われている。
- (13) 同第4節 (GW-2:185:11-15)。
- (14) 光学における数学的研究の伝統に属する者たちを指す用語。Lindberg, p. 251, 註1参照。
- (15) “Opticæ thesaurus Alhazeni Arabis libri septim...”, ed. by Friedrich Risner, Basel, 1572. アルハゼンからの引用は、すべてこの書のリプリント、Lindbergによる序文付き、New York, 1972より。以下“OT”と略記して、ページ数、行数を順に:で結んで表示する。リスナーおよびリスナー版については、Lindberg, p. 185参照。
- (16) 本段落の趣旨については、Lindberg, p. 104, p. 109, p. 116-121, p. 185等参照。
- (17) Lindbergの結論である (pp. 205-208)。
- (18) 『感覚と感覚されるものについて』第2章, 437b24-25。
- (19) 『ティマイオス』16, 45b-d。
- (20) 『ウッチェロへの補足』第5章第4節 (GW-2:187:40-188:7)。
- (21) 同第2章命題7 (GW-2:57:25-59:33), および第5章第3節 (GW-2:162:2-31) 等参照。
- (22) レオナルド・ダ・ヴィンチの実験は当時知られていない。Lindberg, p. 164, p. 168参照。ケプラーが参照した文献については、同書p. 185参照。
- (23) 『ウッチェロへの補足』第5章第4節 (GW-2:188:30-189:5)。
- (24) それまで、幾何学的分析はユークリッドや、彼の流れに従うアル・キンディたち、外送論者のものであった。Lindberg, p. 23-24等参照。
- (25) 『光学の宝庫』第1巻第5章命題19 (OT:10:47-49)。
- (26) Lindberg, p. 30。
- (27) 『光学の宝庫』第1巻第5章命題14 (OT:7:52-8:1)。
- (28) 『大著作』第5部第1部門第6篇第1章 (OM-2:35:24-26)。ベーコンのこの書からの引用は、すべてThe ‘Opus Majus’ of Roger Bacon, ed. by John H. Bridgrs, 1964, Frankfurtより。以下“OM”と略記して、上記のように巻数、ページ数、行数を順に:で結んで表示する。ベーコンは、アルハゼンが「形相」と言うところを「形象」と言う。Lindberg, p. 113-114参照。
- (29) 『ウッチェロへの補足』第1章命題2 (GW-2:10:12)。
- (30) 同第5章第2節 (GW-2:154:25-26)。同第3節第24命題系 (GW-2:179:19-21) も参照。
- (31) 同第2節 (GW-2:153:3-4)。
- (32) アヴィンセナ、アルハゼンのラテン語訳者たちは水晶体を硝子体とともに「氷状体 (glacialis)」と呼ぶ。その前部が水晶体であるから、ここでは水晶体に一致する。Crombie, p. 188-9参照。
- (33) 『光学の宝庫』第1巻第5章命題18 (OT:10:9-14)。Lindberg, p. 74-75参照。
- (34) 同 (OT:9:50-56)。
- (35) 同 (OT:10:16-23)。
- (36) 『大著作』第5部第1部門第6篇第1章 (OM-2:35:14-18)。
- (37) 『光学の宝庫』第1巻第5章命題25 (OT:15:37-43)。
- (38) 『大著作』第5部第1部門第6篇第1章。引用は順にOM-2:36:10-11, OM-2:35:4-5。
- (39) Lindberg, p. 10, Crombie, p. 184-5によれば、ガレノスに由来する。
- (40) Lindberg, p. 78参照。
- (41) 『光学の宝庫』第2巻第1章命題2 (OT:25:12-15)。
- (42) 同 (OT:25:23-30)。

- (43) ベーコンの表現。『大著作』第5部第1部門第7篇標題 (OM-2:47:2)。
- (44) 『光学の宝庫』第2巻第1章命題2 (OT:25:38-44)。
- (45) 『大著作』第5部第1部門第7篇第1章 (OM-2:47:l. 14-25)。
- (46) 『光学の宝庫』第1巻第15章命題29 (OT:17:23-37)。
- (47) 前註 (19) 参照。『ウッテロへの補足』第5章第4節 (GW-2:188:4-7)。
- (48) ケプラーが同箇所 (GW-2:187:37-39) で引用するボルタの『自然魔術』の文。むろん、スクリーンの位置を水晶体とするのは不適切であり、当時のアルハゼンの常識に従ったものであろう。ケプラーも直後に批判する (GW-2:188:30-189:5) のだが、ボルタが水晶体上の像とカメラ・オブスクーラという両立しえないものを併置していることは、彼が幾何学的分析を無視し、問題を理解していないことの証左であろう。Lindberg, p. 183-184 参照。
- (49) Lindberg, p. 75 参照。
- (50) 『光学の宝庫』第7巻第2章命題8 (OT:241:13-25)。
- (51) 『大著作』第5部第1部門第6篇第2章 (OM-2:38:2-5)。
- (52) 『光学の宝庫』第1巻第5章命題18 (OT:10:27-29)。
- (53) 同第7巻第2章命題8 (OT:241:25-26)。
- (54) 同第7巻第6章命題37。引用は順に OT:268:60-61, OT:269:6-7。
- (55) 『大著作』第5部第3部門第2篇第1章。引用は順に OT:147:32-34, OT:148:10-12。
- (56) 『大著作』第5部第1部門第6篇第2章。引用は順に OT:38:31-33, OT:38:25-31。
- (57) 前註 (30)。
- (58) 『ウッテロへの補足』第5章第3節第24命題系 (GW-2:179:16-23), 同第2節 (GW-2:156:33-38) 参照。
- (59) 同第4節 (GW-2:184:12-19)。
- (60) 同 (GW-2:183:25-26)。
- (61) 同 (GW-2:184:34-38)。
- (62) 同第1節 (GW-2:144:7-22)。
- (63) 前註 (13)。
- (64) 『ウッテロへの補足』第5章第4節。引用は順に GW-2:185:24-25, GW-2:185:28, GW-2:185:21, GW-2:185:38-39。
- (65) 1604年12月23日, ヨハン・ブレンガーからケプラーへの書簡 (GW-15:90:36-91:1)。
- (66) 『ウッテロへの補足』第5章第4節 (GW-2:186:41)。
- (67) 前註 (12) 参照。次稿以降の課題とする。