

第七章 フックのその他の研究

フックの地質学

前章で述べたように、ウェストフォールは、フックの光学理論をアリストテレスの伝統を墨守するものとして描いた。第1部の序で言及した通り、ウェストフォールは、光学に限らずフックの業績全般に対して否定的な評価を下した。その彼までもが、「フックの最大の科学的達成」¹と賞賛したのが、フックの地質学的研究であった。フックのこの分野への貢献は、19世紀の前半にも知られていた。齊一説を発展させたライエル(Charles Lyell, 1797-1875)は、主著『地質学原理』の地質学史を論じた部分で、フックの仕事に言及した²。フックの地質学を最初に科学的に扱ったエドワーズ(W. N. Edwards)は、化石に基づいて種の変化を論じたことを挙げて、フックは時代よりはるかに進んだ人物であったと述べた³。アンドレードもまた、既に何回か言及した1950年の論文の中で、フックの地質学に若干言及した⁴。だが、フックの地質学を扱った学問的な研究論文は、最近まで少なかった。この分野が科学史家によって本格的に扱われるようになったのは、1970年代以降であり、オールドロイド(David Oldroyd)らを中心に、研究が本格的に展開されるようになった⁵。

フックが最初に地質学の見解を述べたのは、1665年の『ミクログラフィア』

¹ Posthumous, 'Introduction' to Johnson Reprint edition (New York, 1969), pp. ix-xxvii (p. xxiv).

² Charles Lyell, *Principles of Geology*, 3 vols. (London, 1830-1833), vol. I, pp. 31-35.

³ W. N. Edwards, 'Robert Hooke as Geologist and Evolutionist', *Nature*, 137 (1936), pp. 96-97.

⁴ E. N. da C. Andrade, 'Robert Hooke', *Proceedings of the Royal Society*, Series A, 201 (1950b), pp. 439-473 (pp. 466-468).

⁵ フックの地質学を扱った主要な論文として、David R. Oldroyd, 'Robert Hooke's Methodology of Science as Exemplified in His Discourse of Earthquakes', *Brit. J. Hist. Sci.*, 6 (1972), pp. 109-130; *idem*, 'Geological Controversy in the Seventeenth Century' in *New Studies* (1989), pp. 207-233; Albert V. Carozzi, 'Robert Hooke, Rudolf Erich Rappe, and the Concept of "Earthquakes"', *Isis*, 61 (1970), pp. 85-91; A. J. Turner, 'Hooke's Theory of the Earth's Axial Displacement', *Brit. J. Hist. Sci.*, 7 (1974), pp. 166-170; Rhoda Rappaport, 'Hooke on Earthquakes', *Brit. J. Hist. Sci.*, 19 (1986), pp. 129-146; Yushi Ito, 'Hooke's Cyclic Theory of the Earth in the Context of Seventeenth Century England', *Brit. J. Hist. Sci.*, 21 (1988), pp. 295-314.

であった⁶。ここでフックは、木材の化石を論じた。その化石は、1663年12月23日に、王立協会が顕微鏡観察用に彼に与えたものだった⁷。フックは、これを木が石化したものと考えた。彼はまた、化石という現象は、植物に限らず動物にも見られるものであると述べた。良く知られているように、化石は当時、自然の形成力(plastick virtue)によって作られるものであり、自然の慰み(lusus naturae, sport of nature)に過ぎないと考えられていた。これに対してフックは、「自然は無駄をしない」という格言を引き、ヘビ石(アンモナイト)を例にとりて次のように述べた。

私は、このこれら全ての、またこのように奇妙な形で見いだされる他の大部分の石状のもの形状は、地中に内在するいかなる形成力によるのでもなく、ある種の貝の殻が何らかの洪水、大水、地震、あるいはそれに類する他の方法によってその場所に投げ込まれ、ある種の泥、粘土、腐敗させる水、あるいは他の物質で埋められ、時間の経過とともにこれらの貝の形にまとまって固くなり、今日私たちが見るようなものの形状になったと考えざるを得ません⁸。

フックはこのように、化石を過去に存在した生物の遺骸と考えた。第四章の冒頭の節で触れたように、フックのこの記述は、『ミクログラフィア』の出版許可を得る際に王立協会が問題となった点であった。このことは、フックの主張が、当時の主流からはずれていたことを明確に示している。

化石についての議論は、フックの遺稿集に収録された「地震についての講話(Discourse of Earthquakes)」にも現れた⁹。それは、地球史を化石を通して論じる試みであり、この議論の方法は、人類史を遺跡や遺物の分析から解明することになぞえられた¹⁰。

ラパポート(Rhoda Rappaport)が明らかにしたように、「地震についての講話」は、1667年から1700年にかけて、四期に分けてフックが王立協会で発表した内容を編纂したものだった¹¹。第一期の発表のうち1668年9月以前に行なわれた最初の講演の部分で、フックはアンモナイトやウニの化石を例にとり、これが生物の遺骸であることを論じた(第21図)。その後で彼は、自分の主張を11項目に要

⁶ *Micrographia*, pp. 107-112.

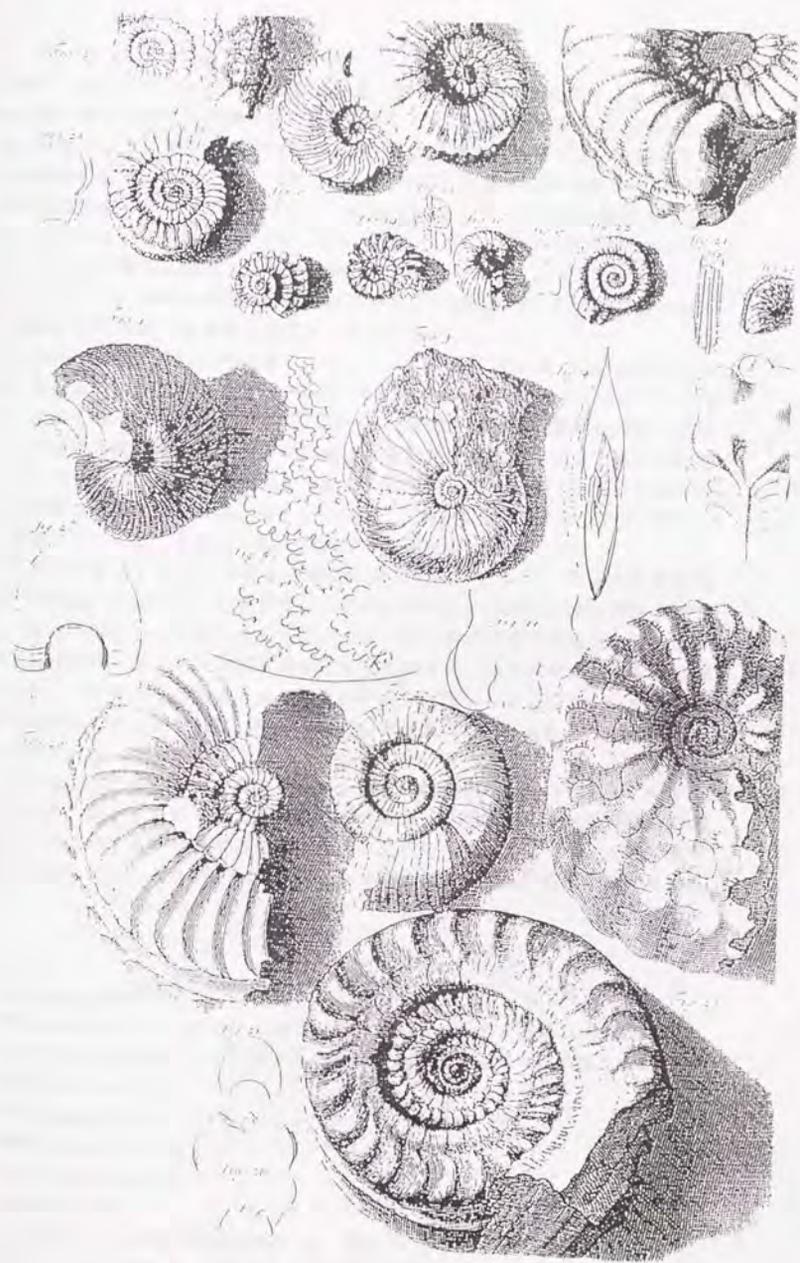
⁷ Birch, I, p. 347.

⁸ *Micrographia*, p. 111.

⁹ *Posthumous*, pp. 279-450.

¹⁰ *Posthumous*, pp. 334-335.

¹¹ Rappaport(1986), pp. 130 & 144-146. 四つの時期とは、1667年から1687年1月5日、1687年1月19日から同年3月9日、1687年11月2日から1693年8月2日、1694年7月25日から1700年1月10日である。



第21図 フックのアンモナイトの観察
 (出典・ Posthumous Table I)

約した¹²。そこでは、生物の遺骸が石化する原因がいくつか検討された。また、海から遠く離れた高所に海洋生物の化石が見いだされる理由も考察された。フックは、原因として、地球の重心の変化、地中の火の噴出、地震による地殻の変動などを候補として挙げた。フックは、今日見られない生物の化石が存在するのは、これまでに絶滅した生物種があるためであるとも述べた。第一期の発表の終わりに近い部分では、絶滅種の存在とともに、新種の出現についても議論がなされた。このような生物種の変化は、気候や食物などの環境の変化によるものであるという¹³。ただし、この内容を現代的に読み込んで、生物種の交代の言明を進化の主張と解釈することは、注意深く避ける必要がある¹⁴。

化石が高い場所に移動した原因として、フックは第一期には、地震による海面の変化を最大の候補と考えていたと思われる。これに先立つ『ミクログラフィア』では、洪水も候補に挙げられていた。だが、「地震についての講話」の第一期には、海の生物を高所に移動させるには洪水は継続時間が短かすぎると見なされていた¹⁵。フックは、磁北の変化の類推から、地球の重心の変化（地軸の移動）が化石の移動の原因となったことが考えられるとした。だがフックは、この時には、この見解に対してどちらかといえば消極的な対応をとった¹⁶。

1687年に始まる「地震についての講話」の第二期になると、フックは地軸の移動の可能性について詳しく検討を加えた¹⁷。地球上の海面は、赤道部分では自転による遠心力のために膨れあがっている。一方、極の部分の海面は、遠心力の影響を受けない。従って、地球全体として見るならば、海水の表面は楕円状になっており、赤道付近では極より多くの土地が海水に覆われる。だから、地球の自転軸が移動しているとすれば、海面下に沈む地表面は、時代とともに変化するようになる¹⁸。

フックは、このような自転軸の移動を、子午線の変化から見いだすことを考えた。彼はこれを、歴史的な天文観測資料の分析や、望遠鏡による実際の天測によって知ることが出来ると指摘した¹⁹。また、その検知の方法として、正確に東西南北に向かって据えられた古い教会などの建物の方向の歴史的变化を見いだすこ

¹² Posthumous pp. 290–291.

¹³ Posthumous p. 327. フックは、巨大なアンモナイトの化石が見られることを根拠に、イギリスは熱帯だったことがあるのではないかと述べた。Ibid, p. 343.

¹⁴ Oldroyd(1987), p. 114.

¹⁵ Posthumous, p. 320.

¹⁶ Posthumous pp. 321–322.

¹⁷ Rappaport(1986), pp. 134ff.

¹⁸ Posthumous, p. 347.

¹⁹ Posthumous, pp. 353ff.; Oldroyd(1989), pp. 127–129. 地軸の移動の理論に対しては、オクスフォードにいたウォリスから批判が寄せられた。Turner(1974)を見よ。

とも提案した²⁰。しかし、フックは第三期の議論で再び地震を論じているから、地震に基づく議論を彼は放棄することはなく、両方の可能性を考えていたと思われる²¹。

以上のようなフックの地質学的議論は、興味深いものではあるが、彼の理論を引き継ぐ人物は現れなかった。ターナーが述べたように、

フックの地質学の理論の支持者がいなかったことは、完全に理解できることである。なぜなら、それがどんなにもっともらしい理論であったにしても、17世紀の知識の文脈において、それは全く信じることのできないものだったのである²²。

フックは、自分の理論の必然性を決定的な証拠で説明できなかった。しかも、彼の体系は、聖書の記述や、自然の形成力といった議論と調和させることのできないものだったのである。

フックの時計研究

フックは、アングル脱進機 (anchor escapement) とバネ付きテンプ (balance spring) という機械時計の重要な要素の発明者であるとしばしば言われてきた²³。しかし、アンドレードが述べたように、フック自身はアングル脱進機の発明者と自ら主張してはいない²⁴。フックを高く評価したエスピナスも、フックがアングル脱進機

²⁰ Posthumous, pp. 360-361.

²¹ Posthumous, p. 372.

²² Turner(1974), p. 167. このターナーの見解に、Ito(1988)は異論を唱えている。それによると、フックに類似する説(周期的な地表の変動を主張する説)は、当時比較的流布しているものだった。だが、それはフックの説として伝わらなかったのだという。この観点は興味深いが、Itoは論点を正しく捉えていないように思われる。なぜなら、フックの説の重要なポイントは、地表の周期的変化の部分ではなく、化石を生物の遺骸とする理論の部分だったからである。そのことは、『ミクログラフィア』出版の際にフックの化石の理論が王立協会で非難の的となったことから分かる。

²³ テンプは、バネなどの等時性を利用して、時計の進み具合を正確に一定に保つための工夫。アングル脱進機は、このテンプに動力を間欠的に与えるもの。振りなどから直接機械部分を駆動するバージ脱進機 (verge escapement) より、これらの工夫を使う方が、時計は正確に時間を刻む。アングル脱進機とバネ付きテンプの発明をフックに帰した例として、Diary 1672-1680, p. iv; Gunther, 6, pp. 69-70; Luise D. Patterson, 'Pendulums of Wren and Hooke', *Osiris*, 10 (1952), pp. 277-321 (pp. 279-281) などがある。

²⁴ Andrade(1950), p.456.

を発明したことには懐疑的であった。ホールは、フックがアングル脱進機ではなく、旧来のバネ脱進機を使っていたことを示した²⁵。実際、フックの時計への寄与を扱ったほとんどの研究は、彼のバネ付きテンプの研究に焦点を当ててきたのである²⁶。

その研究の興味は、フックとホイヘンスのどちらが先にバネ付きテンプを発明したのかという点にあった。航海用の精密な時計は、経度決定という航海術上の大問題への一つの解答として、当時の自然学者達の関心を集めていた²⁷。振り時計は、海上では揺れのために実用にならない。バネ付きテンプは、精密な時計を得るための基本的な技術だった。だから、バネ付きテンプの先取権の確保は、フックにとって重要な課題だった。

バネ付きテンプの発明は、今日ではホイヘンスに帰されるものである(第22図a)。マホーニイ(Michael Mahoney)によれば、そこに至るまでのホイヘンスと時計の関わり合いは、三つの段階に区分される²⁸。第一段階は、1657年から1661年であり、この間にホイヘンスは、振子と機械時計を結びつけて一つの装置とする工夫を行なった。彼はまた、サイクロイド振子の等時性を見だし、これを時計に応用した。第二段階は、1662年からの10年間で、振り時計を航海に使用するための努力が続けられた。第三段階は、1675年のバネ付きテンプの発

²⁵ Margaret Espinasse, *Robert Hooke* (London, 1956), p. 62; A. R. Hall, 'Horology and Criticism: Robert Hooke', *Studia Copernicana* 16 (1978), pp. 261-281 (pp. 263-264).

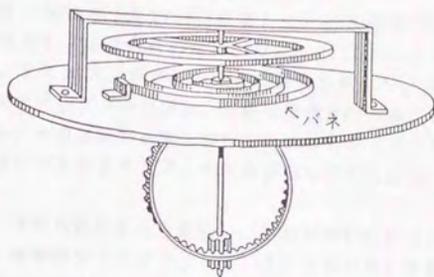
²⁶ 上記研究のほか、H. W. Robinson, 'Hooke's Pocket Watch', *Ann. Sci.* 4 (1939), pp. 322-323; A. R. Hall, 'Robert Hooke and Horology', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.* 8 (1951a), pp. 167-177; Derek House and Valerie Finch, 'John Flamsteed and the Balance Spring', *Antiquarian Horology* 9 (1976), pp. 664-673; M. B. Hall, 'Huygens' Scientific Contacts with England' in *Studies on Christiaan Huygens* (Lisse, 1980), H. J. M. Bos et al. (eds.), pp. 66-82; Michael Wright, 'Robert Hooke's Longitude Timekeeper' in *New Studies* (1989), pp. 63-118.

²⁷ 経度決定問題についての初等的記述としては、標準的な教科書である Stephen F. Mason, *A History of the Sciences* (London, 1953), pp. 246-247 & 269ff. [矢島祐利訳、『科学の歴史』(岩波書店、1955年)、上、270および295ページ以下]の記述がまとまっている。経度決定問題については、Robert K. Merton, *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England* (New York, 1970) [Originally published in *Osiris* in 1938]も扱っている(pp. 167ff.)。イギリス政府は、1714年にこの問題の解決に対して賞金を与えることとした。Jim Bennett, *The Mathematical Science of Christopher Wren* (Cambridge, 1982), p. 48. なお、精密な時計は、天文観測のためにも重要なものだった。これについての当時の証言として、*Phil. Trans.* 1 (1666), No. 17, p. 296を挙げておく。

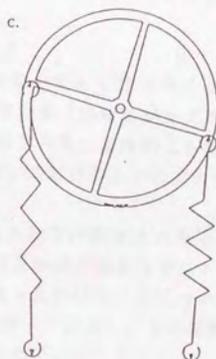
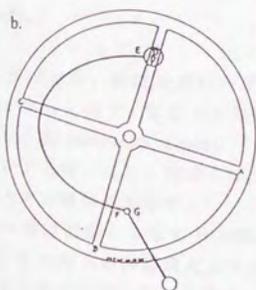
²⁸ Michael S. Mahoney, 'The Measurement of Time and Longitude at Sea' in *Studies on Christiaan Huygens* (Lisse, 1980), H. J. M. Bos et al. (eds.), pp. 234-270 (p. 236) [佐々木力編訳、『歴史における数学』(勤草書房、1982年)、第5章所収、187ページ]。

第22図 バネ付きテンプ

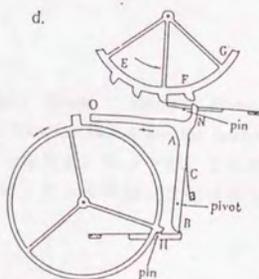
(出典・Wright(1989) などより)



a. ホイヘンスのバネ付きテンプ



b,c,d. フックのバネ付きテンプの工夫



明からホイヘンス没までの時期である。

ホイヘンスは、1675年1月20日（新暦）に、バネ付きテンプレの「ヘウレ
ーカ〔我発見せり〕」を書き留めた²⁹。それは10日後にアナグラムとして王立
協会に送られ、1月28日（旧暦）の会合に報告された³⁰。2月18日に王立協会
で開示されたそのアナグラムの解は、「鉄の渦巻きを中心に付けられた可動性の
円の軸」だった。それは新しい懐中時計のためのものであった³¹。

フックが最初にバネ付きテンプレの先取権を申し立てたのは、この時だった。

フック氏は、何年も前にそれを発明し、それで時計を作ったと述べた。彼はそ
れについて、議事録や〔スプラットの〕『王立協会史』を調べ、何人かの会員
にそのことを聞いてみるように求めた³²。

フックは、先取権を確保するために、自らの著作でも主張を繰り返した。例え
ば、1676年のカトラー講義、『太陽望遠鏡について』で、フックは次のように
述べた。

17年ほど前、経度を見いだすために時間測定を正しく行なうことに非常に興
味があったので、私はある発明の技術、すなわち（当時私がマスターした）機
械的代数 (mechanical algebra)³³を用いて、その工夫を、理論的にも実験的証明に
おいても見だし、完成した。そのことについて私は何人かの友人に語ったが、
やり方は隠しておいた。

15年ほど前、すなわち1660年に、当時国王陛下が復活されたところだった
が、私は何人かの高貴な方々と（そのうち何人かはご健在だが、一人はその後
お亡くなりになった。しかし、その一人であったということについてこの方が
書き記しておられるという十分な証拠を私は持っている）、その発明に関して、
これを増進するための条項について話し合った³⁴。

²⁹ Mahoney(1980), p. 255 [邦訳、217ページ]; *Oeuvres*, 7, pp. 407-416 (p. 408).

³⁰ Huygens à Oldenburg, 30 janvier 1675 (N. S.), *Oeuvres*, 7, pp. 399-400 (p. 400); *Birch*, 3, p. 179.

³¹ *Birch*, 3, p. 190.

³² *Ibid.*

³³ 機械的代数学が何を指すのかについては、Marry Hesse, 'Hooke's Philosophical Algebra', *Isis*, 57 (1966a), pp. 67-83; *idem*, 'Hooke's Vibration Theory and the Isochrony of Springs', *Isis*, 57 (1966b), pp. 433-441; *Pugliese*, Chap. 2 を見よ。ヘッセは、これは分類の後の排除の方法であると考えたのに対して、ピュグリーズは、普遍言語との関係を示唆している。

³⁴ *Gunther*, 8, p. 146.

すなわちここでフックは、17年前の1658年にバネ付きテンプレを発明し、それから2年経った1660年に、この発明について高貴な人々と何らかの協定を結ぼうとしたと主張しているのである。

1678年に出版されたカトラー講義、『復元力について』の中でフックは、この高貴な人々が誰を指すのかについて具体的に記述した。それによると、フックは、時計のテンプレにバネを応用したものを、

ヴィスコウンティ・ブランカー卿、ロバート・ボイル氏、ロバート・マレー卿に、それについての特許状を得るためにお見せした³⁵。

フックの『遺稿集 (Posthumous)』(1705)に収められた「ロバート・フック博士伝」の中で、編者のウォラーは、この時の合意文書の草稿を目にしたことについて触れている。その文書は、フックの発明から得られる利益の分配、発明権のフックへの帰属などについて取り決めたものであり、この特許の使用料に関する議会の法案の草稿もあった³⁶。

この合意文書は、一つの条件が折り合わなかったため、日の目を見なかった。その理由を、フックは、『太陽望遠鏡について』で次のように述べた。その協定では、

私の原理を改良する方法を彼らか他の人が見つけた場合、私ではなく、彼または彼らが、特許の期限の間、その利益を得ることになっていた。この条項に、私は決して同意できなかった。なぜなら、私の原理を百通りに変形することは容易であり、私が最初に見つけたものに便宜的に何かを加えることも出来るからである³⁷。

フックは、出版物でこのようにホイヘンスに対する自分の先取権を訴える一方で、自らのアイデアの完成を急いだ。フックは、ホイヘンスの発明にイギリスの特許が与えられることを恐れたのだ。王立協会でホイヘンスのバネ付きテンプレが発表されて以来、フックの日記には、時計やバネの記述が多くなった³⁸。しかし国王チャールズ二世は、フックが実際にバネ付きテンプレを使った時計を作らなければ、ホイヘンス側に特許を与えることをちらつかせた³⁹。そこでフックは時計を作って、国王に見せたり試用してもらったりした。4月7日に国王は、

³⁵ Gunther, 8, p. 337.

³⁶ Waller, p. v.

³⁷ Gunther, 8, p. 147.

³⁸ Diary 1672-1680, pp. 148ff.

³⁹ Diary 1672-1680, p. 158.

フックの時計を見て、彼に特許を与える約束をした⁴⁰。最終的に満足のできる時計が国王に献上されたのは、8月26日のことだった⁴¹。だが国王は、フックにもホイヘンスの側にも、結局は特許を与えなかった⁴²。

フックは、国王に献上した時計に、「R・フックが1658年に発明。T・トンピオンが1675年に作製」と刻んだと言われる⁴³。しかし、ライト(Michael Wright)の論文によれば、1658年にバネ付きテンプレを発明したというフックの主張は、そのままでは受け入れられない。フックは、ホイヘンスに対する先取権の申し立てを有利にしようとして、発明の時期を繰り上げているという⁴⁴。

フックがバネを時計に応用した初期の例は、彼の手稿の中に見られる⁴⁵。この手稿に分析を加えたホールによれば、この手稿の主たる部分は、1660年代前半ごろに書かれた⁴⁶。その中には、特許を得るためにブランカー、ボイル、マレーなどとフックが書いた国王宛の書類が含まれている⁴⁷。

手稿には、申請すべき発明についての記述も収められた。それには図が添付されていないが、内容分析に基づいて、ホールはメカニズムの推定図を作成した(第22図d)。これによると、フックの工夫は、板バネを用いてテンプレを制御しようとするものだった。

ホールの分析が正しいとするならば、フックがこの時考えていたのは、バネ付きテンプレと通常称されるものとは違っている。なぜなら、バネ付きテンプレは、コイル状の長いヒゲゼンマイをバネとして用いるものだからである。フックがヒゲゼンマイを使ったものを初めて記録したのは、日記の1675年3月8日の部分だった⁴⁸。それは、ホイヘンスの発明が王立協会で報告された後のことであった。従って、ホールはフックをバネ付きテンプレの発明者とすることはできないと考え

⁴⁰ *Diary 1672-1680*, p. 157.

⁴¹ *Diary 1672-1680*, p. 176; Hall(1978), p. 271.

⁴² John Ward, *The Lives of the Professors of Gresham College* (London, 1740), p. 181; Espinasse(1956), p. 65.

⁴³ Ward(1740), p. 182, note a. 国王に献上された時計については、R. W. Symonds, *Thomas Tompion* (London, 1951), Chap. 3を見よ。Thomas Tompion(1638-1713)は、フックと親しい職人であった。

⁴⁴ Wright(1989), pp. 76-79.

⁴⁵ Trinity College, Cambridge, MS O. 11a. ¹⁵

⁴⁶ ホールは最初この手稿を1660年のものとしたが、後には1664年のものとしており、両者は矛盾している。Hall(1951a), p. 171 および Hall(1978), p. 265.

⁴⁷ ウォラーの元に伝わったフックの記録によれば、特許の申請書はマレーが作成することになっていた(Waller, p. v.)。従って、これはそのためのフックの下書きと考えるべきであろう。

⁴⁸ *Diary 1672-1680*, p. 151; Hall(1951a), p. 176.

た⁴⁹。この点について、ライトの先述の研究は、異を唱えていない。

一方、通常バネ付きテンプと呼ばれるものに話を限定しなければ、フックはバネでテンプを制御することに早い時期から取り組んでいた。彼は、重力（すなわち振子）の代わりにどんな姿勢でも使用できるバネを「人工重力」として用いようとした⁵⁰。そして、板バネを使ったのであった。

フックが海洋時計の改良に取り組んでいることは、早い時期にホイヘンスにも伝わっていた。1665年のマレーのホイヘンス宛の手紙には、海洋時計に関して「フックが3年前に発明を語った」ことが書かれていた⁵¹。これに1月ほど先立つ手紙で、マレーは、フックがバネを使ったテンプについて話をしたとホイヘンスに報告した⁵²。

一方のフックも、ホイヘンスが海上で振子時計の実験を行なったことに刺激を受けていた⁵³。時計についてのフックの手稿（ホールが取り扱ったもの）の全体像の研究を行なったライトによると、フックはその手稿の中で、1662年のホイヘンスの海洋振子の実験に言及しているという⁵⁴。フックは、1676年の『太陽望遠鏡について』でも、ホイヘンスの実験について聞き及んだことを記述した。しかし、「その発明は私のものと抵触することはない」と彼は考えたという⁵⁵。

同じ著書の中でフックは、バネを付けたテンプに関して1660年代に彼が行なった講義について、次のように書いている。

1664年に、今はもう亡くなった親しい友人に熱心にせがまれて、グresham・カレッジのオープン・ホールで、このテーマについての最初のカトラー講義のいくつかを読み上げた。そこには、王立協会のたくさんの方のほかに、私の知らない人々もたくさん出席していた。そこで私は、運動を制御するために

⁴⁹ Hall(1978), p. 280.

⁵⁰ Hall(1951a), p. 174 に転記されたフックの手稿の表現による。ただし、フックが最初からバネ振子の振動の等時性を明確に認識していたかどうかは不明である。Hesse(1966b), p. 438; Hall(1978), p. 267.

⁵¹ Moray à Huygens, 10 octobre 1665 (N. S.), *Oeuvres*, 5, pp. 503-506 (p. 503).

⁵² Moray à Huygens, 1 août 1665, *Oeuvres*, 5, pp. 426-428 (p. 427). これは、後述のフックのグresham・カレッジでの講演を指すと思われる。

⁵³ このホイヘンスの振子は、イギリスのアレクサンダー・ブルース (Alexander Bruce, c. 1629-1680) との協力で生まれたものだった。正確には、実験は1663年に行なわれた。詳細については、Mahoney(1980), 252-253 [邦訳、212-213 ページ]。

⁵⁴ Wright(1989), pp. 72-73. ホールは MS O. 11a. 1^a の一部（部分 A から L）のみを扱ったが、ライトは全体を研究している。

⁵⁵ Gunther, 8, p. 148. 『太陽望遠鏡について』は、1675年10月に既に出版されていた。Diary 1672-80, p. 186 (1675年10月11日)。

時計のテンプにバネを応用する根拠と理由を示した⁵⁵。

フックは、バネを使う方法を20通り講義で示したと述べている。この時期の手稿と思われるものが、先にも触れたライトの研究で明らかにされた。それには、バネをテンプに応用したものが見られる。その一つを手稿からライトが再構成したのが、第22図cである。第22図bは、手稿の他の部分に収められたもう一つのもの再構成だが、どちらの場合も、ホイヘンスの場合とは違って、短いバネをテンプに使用していた⁵⁷。

フックの発明は、このころ王立協会でも何回か取り上げられた。例えば、1664年1月13日の委員会で、会長のブランカーは、フックのある発明を報告したが、これはテンプの改良に言及したものと考えられる⁵⁸。また、1666年8月29日、フックは、「海でも陸でも正確に時を計るのに役立つ新しい時計」を王立協会に示した⁵⁹。1668年2月20日に王立協会を訪れたフィレンツェのロレンツォ・マゴロッチィ(Lorenzo Magalotti)は、バネ付きのテンプを用いたフックの時計のデモンストレーションを見たことを書き残している⁶⁰。フックのテンプは、フック自身が後になって主張したとおり、スプラット(Thomas Sprat, 1635-1713)の『王立協会史』にも収録された⁶¹。しかし、上の議論から明らかのように、そこで使用されていたのは、普通のバネ付きテンプに用いられるコイル状のヒゲゼンマイではなかったように思われる。

だがフックは、バネ付きテンプに対する自らの先取権を主張して譲らなかつた。オルデンバーグがホイヘンスのために特許をとろうとしたことが、フックを怒らせた⁶²。ホイヘンスは外国人であり、自らイギリスの特許をとることはできなかった。しかし、オルデンバーグは、ホイヘンスの代理人として、その利益を得ることが可能だった。それは、王立協会のために献身的に働いてきたオルデンバーグにとって、手にする権利のあるものともいえた。オルデンバーグは、1676年3月25日に、ホイヘンスの発明を『フィロソフィカル・トランザクションズ』に掲載した⁶³。この前後のフックの日記には、「裏切り」、「詐欺」、「うそつき

⁵⁵ Gunther, 8, p. 149.

⁵⁷ Wright(1989), pp. 89 & 92より転載。なお、バネを用いて時計を制御するフックの工夫としては、この他にバネをフライホイールとして用いるタイプのものがある。これは、1677年に出版されたカトラー講義、『ランプ』において発表された。Gunther, 8, pp. 197-198およびその文末付図を参照。

⁵⁸ Birch 1, p. 370; Wright(1989), p. 76.

⁵⁹ Birch 2, p. 112.

⁶⁰ この事実を最初に明らかにしたのは、Robbinson(1939), p. 323である。

⁶¹ Thomas Sprat, *The History of the Royal Society* (London, 1667), p. 247.

⁶² 以下の記述は、主にHall(1978), p. 276と、Ward(1740), pp. 179-180による。

⁶³ *Phil. Trans.*, 10 (1676), No. 112, pp. 272-273.

犬」といった罵りの言葉がオルデンバーグに向けて使われている⁶⁴。フックは、上に引用したように、ホイヘンスの発表の後に出版された『太陽望遠鏡について』で、自らの先取権を主張した。カトラー講義『ランプ』の後書きでは、フックは「トランザクションズの出版人」を「スパイ」として公然と非難するに至った⁶⁵。この事態は、1676年11月2日の王立協会の委員会で問題となった⁶⁶。委員会は、オルデンバーグが王立協会に誠実であり、彼がホイヘンスの手紙を『フィロソフィカル・トランザクションズ』に掲載したことは正当であると決裁を下した⁶⁷。こうして、社会的な決着は、ホイヘンス側に有利なものとなった。

とはいえ、実用的な海洋時計を作るという問題では、フック同様に、ホイヘンスも勝利者ではなかった。結局それは、1728年から1770年にかけて、時計師のハリソン(John Harrison, 1693-1776)がマリン・クロノメーターを作ることによって解決されたのだった。ハリソンは、この発明によって、1765年にイギリス政府から賞金を授けられた⁶⁸。

観測器機への貢献

フックは、時計の他にも、いくつかの技術的改良を行なった。その中には、様々な計測を行なうための器機が見られる。特に、海の深さを計測する装置は、時計同様に航海術の改良にとって重要なものだった⁶⁹。ウォラーはフックの遺稿集において、これに関係する実験を1664年にフックが行なったことを記述している。だが実際にはそれは、1664年に限られることなく、長期にわたって取り組まれた課題だった⁷⁰。

王立協会では、早い時期から海の深度の測定について関心が持たれていた。協会発足間もない1661年6月14日には、サンドイッチ伯(Earl of Sandwich)がリスボ

⁶⁴ *Diary 1672-1680*, pp. 151, 157 & 192.

⁶⁵ *Gunther*, 8, pp. 207-208. フックの没後、ウォラーはオルデンバーグのスパイ行為を立証しようと努力した。だが、ウォラーの挙げた証拠の手紙は、ホイヘンスではなく、他の人(M. De Son)にフックの発明を知らせるべきことを勧めるマレーの手紙であり、不適切なものだった。Waller, p. vi; Hall(1978), p. 278.

⁶⁶ *Birch* 3, pp. 321-322. 『ランプ』の出版年は1677年だが、本の出版年と実際に売り出された時期は必ずしも一致しないことに注意。

⁶⁷ *Phil. Trans.*, 11 (1676), No. 129, pp. 749-750.

⁶⁸ Mason(1953), p. 271 [邦訳、上、297ページ]。

⁶⁹ フックのこの研究に詳しく言及したものとして、Margaret Deacon, 'Founders of Marine Science in Britain: The Work of the Early Fellows of the Royal Society', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 29 (1965), pp. 28-50がある。なお、フックの技術的改良については、J. A. Bennett, 'Robert Hooke as Mechanic and Natural Philosopher', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 35(1980), pp. 33-48が、文献索引として参考になる。

⁷⁰ Waller, p. x.

ンへの航海で行なった海深測定について会合で報告が行なわれた⁷¹。これは、浮きに鉤でおもりをぶら下げた装置であった。海底に達するとおもりがはずれるようになっており、浮きが海面に浮上するまでの時間を測定することで、海の深さが分かる。この装置を使用した実験は、1662年3月、テムズ河などでマレーやブランカーによって実施され、王立協会で報告された⁷²。

それから1年半ほど経った1663年9月30日、フックはこの装置の改良型を王立協会の例会で報告した(第23図a)。改良点は、縄で釣り下げることなく海中に装置を降ろすことができるようにしたことであったという。彼は同時に、海水のサンプルを集める装置も発表した(第23図b)⁷³。これは、海底におもりが到達したとき、採水用のバケツのふたが閉じるようにしたものだ。

フックの海深測定装置は、国王に示されることが翌月定められた⁷⁴。フックの二つの工夫は、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に1666年と1667年に掲載された二つの記事の中に収められた。それは、「遠方に航海する船乗りへの指示の付録」および「航海の時に船長、水先案内人、その他適当な人によってなされるべき観察と実験についての指示」と題されていた⁷⁵。

10年ほど後になって、フックの海深測定装置に対して、水中を下降する際の加速のために、正確な測定ができないのではないかという批判があった⁷⁶。これについてフックは、海が十分に深ければ、測定装置の速度は水中で一定になると答えた。フックの装置には、この他にも、浮上するまでに海流で浮きが流されて見つけにくいという批判もあった。だが、これに対するフックの回答は、そこには記録されていない⁷⁷。

フックは、気圧計の改良を試みたことでも知られる⁷⁸。中でもよく知られてい

⁷¹ Birch 1, pp. 29-30.

⁷² Birch 1, pp. 78-79 & 86-87.

⁷³ Birch 1, pp. 307-308.

⁷⁴ Birch 1, p. 316.

⁷⁵ 'An Appendix to the Directions for Seamen, Bound for Far Voyages', *Phil. Trans.*, 1 (1666), No. 9, pp. 147-198; 'Directions for Observations and Experiments to be Made by Masters of Ships, Pilots, and Other Fit Persons in Their Sea-Voyages', *Phil. Trans.*, 2 (1667), No. 24, pp. 433-448.

⁷⁶ Birch 3, pp. 397-399.

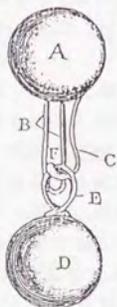
⁷⁷ Birch 3, pp. 399-400. フックは、1691年のものとされる遺稿の中で、これらの批判を考慮し、改善を試みた。 *Philosophical Experiments*, pp. 225-227.

⁷⁸ このテーマに関しては、Louise D. Patterson, 'Thermometers of the Royal Society, 1663-1768', *Amer. J. Phys.*, 13 (1951), pp. 523-535; *idem*, 'The Royal Society's Standard Thermometer, 1663-1709', *Isis*, 44 (1953), pp. 51-64; W. E. Knowles Middleton, 'A Footnote to the History of the Barometer', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 20 (1965), pp. 145-151 などが参考になる。

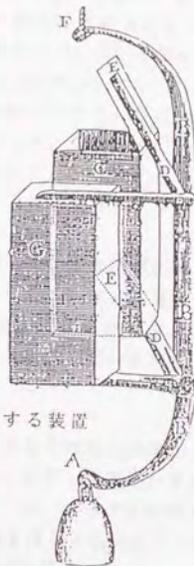
第23図 フックによる測定装置の技術的改良のいろいろ

(出典・Birch Micrographia

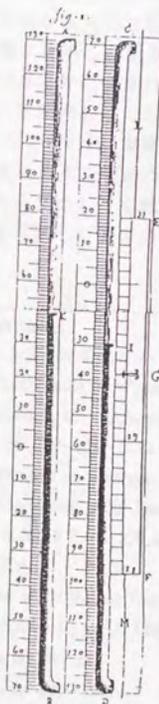
Phil. Trans. の該当箇所(本文参照))



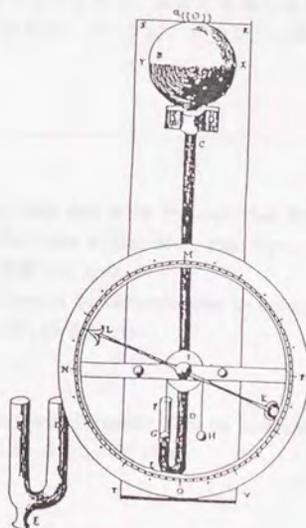
a. 海深測定装置



b. 海水を採取する装置



c. 海洋気圧計



d. 回転気圧計

るのは、フックが『ミクログラフィア』の序文で示した気圧計である（第22図d）⁷⁹。これはいわゆる回転気圧計（wheel-barometer）であり、水銀柱の上下を、回転する針で読みとるようにしたものである。水銀の表面に浮いている銅の玉の動きが、糸を介して針に伝えられる。フックは回転気圧計について、『ミクログラフィア』に先立って、1663年の末から1664年の初めにかけて、王立協会で発表している⁸⁰。フックは、1666年に、この簡易型を『フィロソフィカル・トランザクションズ』に発表した⁸¹。さらに、1686年になると、水銀よりも軽い二種類の流体を水銀と併用した気圧計を発表した⁸²。これは、流体の上下を増幅することで、気圧の変動を読みとり易くする工夫だった。

フックはこれらとは別に、海上で天候の予測に使用するための海洋気圧計の研究も行なった。彼がこの研究に取り組んでいることは、1667年12月と翌年1月の王立協会の例会で報告された⁸³。しかし、フックはこの研究を20年以上放置しておいたものと思われる⁸⁴。フックの装置が発表されたのは、死の直前の1702年のことだった（第23図c）⁸⁵。発表は、病気のフックに代わって、ハレーによって行なわれた。

フックの海洋気圧計は、封印していない温度計には、温度と気圧の効果が合併して現れることを利用したものであった。開口温度計と、密封した温度計を比較すれば、その差から気圧を計算することが出来る。ハレーは、フックの装置を南洋航海で実際に使用し、天候を予測するのに良好な結果を得たと記述している。ただし、開口温度計に含まれる液体の劣化という問題点が指摘された。

フックは、気圧計の他にも、気象に関する装置に取り組んだ。例えば、『ミクログラフィア』で彼は、温度計を扱った⁸⁶。そこでフックは、蒸留した水が凍り出す点に温度の原点を定めた。『ミクログラフィア』には、湿度計も現れる⁸⁷。これは、オート麦のヒゲを観察した部分で扱われた。フックは、このヒゲの湿度による伸縮を利用した湿度計を説明した。

⁷⁹ *Micrographia*, sig. c1.

⁸⁰ *Birch* 1, pp. 365, 367 & 371.

⁸¹ 'A New Contrivance of Wheel-Barometer, Much More Easy to be Prepared, Than That, Which is Described in the Micrography; Imparted by the Author of That Book', *Phil. Trans.*, 1 (1666), No. 13, pp. 218-219. これは、水銀溜めを省略したもの。

⁸² 'A Description of an Invention, Whereby the Divisions of the Barometer May be Enlarged in Any Given Proportions', *Phil. Trans.*, 16 (1686), No. 185, pp. 241-244.

⁸³ *Waller*, p. xiv; *Birch*, 2, pp. 235 & 239.

⁸⁴ *Pugliese*, p. 222.

⁸⁵ 'An Account of Dr Robert Hook's Invention of the Marine Barometer, With Its Description and Uses by E. Halley, R. S. S.', *Phil. Trans.*, 22 (1701), No. 269, pp. 791-794.

⁸⁶ *Micrographia*, pp. 38-39.

⁸⁷ *Micrographia*, pp. 149-151.

フックの回転気圧計、温度計、湿度計は、彼の風力計の工夫などとともに、スプラットの『王立協会史』に、「フック氏による気象史 (history of weather) を作るための方法」として、図とともに収められた（その一部は、第24図の上側の図）⁸⁸。

フックはまた、時計仕掛けで自動的に天候を記録する気象時計 (weather clock) の作製にも関与した。これは、フックがレンの気象時計の作製に協力したものであった。レンは、1663年の末にこの装置のアイデアを示した（第24図・下側の図）。翌年にフックは、この装置に使用するための時計を工夫するように協会から命じられた⁸⁹。

記録によると、1679年5月22日、フックは気象時計を完成した。だが、王立協会の会合に、

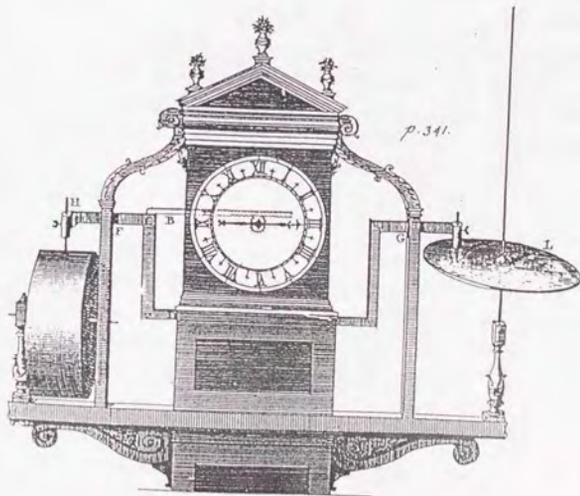
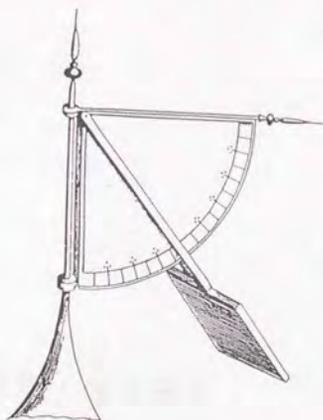
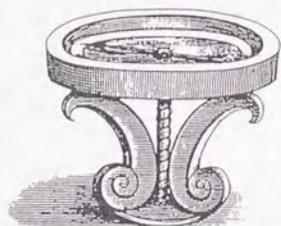
見知らぬ人が出席していたため、フック氏がちょうど完成した気象時計を示すことは、翌週の会合まで延期された⁹⁰。

その装置の説明は、翌週の記録にも、あるいはそれ以降の記録にも、残念ながら見ることはできない。

⁸⁸ Sprat(1667), pp. 173-179.

⁸⁹ Birch 1, pp. 341 & 467.

⁹⁰ Birch 3, p. 486.



第24図 フックの湿度計・風力計とレンの気象時計
(出典・Sprat(1667) 付図および Birch 1, Plate 3)

【補遺一】

（以下は非常に淡く印刷された日本語の文章が読み取れる。内容はフックの天文学・光学研究に関する記述と思われる。）

第11部 フックの天文学・光学研究

（以下は非常に淡く印刷された日本語の文章が読み取れる。内容はフックの天文学・光学研究に関する記述と思われる。）

（以下は非常に淡く印刷された日本語の文章が読み取れる。内容はフックの天文学・光学研究に関する記述と思われる。）

〈第Ⅱ部・序論〉

第Ⅰ部では、前半でロバート・フックの科学活動のバックグラウンドを論じた。そこでは、フックの出自と、彼の活動の場であったグレシャム・カレッジや王立協会が分析された。フックが積極的な活動を展開した17世紀の後半には、グレシャム・カレッジが担っていた数学的諸科学の衰退が見られた。

第Ⅰ部の後半では、フックの科学的探求について、各分野別に論じた。フックはほとどの分野においても、第二次世界大戦前から戦後にかけて高い評価を受けた。だが、ホール、コイレ、ウェストフォールらの戦後の職業科学史家は、手稿などに基づく精緻な研究によって、フックに対する評価を見直した。ホールの1978年の言葉は、彼らの立場を端的にまとめている。

ロバート・フックの真の長所は、しばしば十分に説明されてきた。それを理不尽なほどまで拡張することはない¹。

ホールらに続く新世代の科学史家の研究は、このようなフックに対する見方を大きく塗り替えることはなかった。新世代の人々の研究を吸収した上で執筆された本論文第Ⅰ部の記述は、そのことを立証している。そこに描かれたフック像は、極めて平凡なものであった。すなわち、フックの顕微鏡観察や地質学、技術的貢献はそれなりに評価できるが、力学においては彼はニュートンに劣るとされた。光学の分野では、フックはアリストテレスの説を墨守したニュートンの劣った論敵であるか、光の波動説を唱えた人々の一人として扱われた。筆者は光学についてのこの見方を修正したが、それでも、フックはようやくこの分野でニュートンの対等な論敵の地位を得たに過ぎない。

ビュグリーズが七百ページを越える長大なフック研究論文を執筆した挙げ句に、「何よりもフックは、初期王立協会で高く掲げられたベーコンの理念を増進しようとした」人物であるという陳腐な結論しか出せなかったのも、彼の研究が戦後のフック研究の総括であったということを考えれば、致し方ないことだった²。

このような研究の現状からは、ウェストフォールが *DSB* で与えた次のような評価を批判することは難しい。

科学史における彼〔フック〕の役割については、平凡な評価を避けることは不可能である。すなわち、彼は自分の洞察を推し進めることは決してできなかった

¹ A. R. Hall, 'Horology and Criticism: Robert Hooke', *Studia Copernicana*, 16 (1978), pp. 261-281 (p. 280).

² Pugliese, 'Abstract' of his thesis.

た。実際、彼は洞察を、例えばニュートンがしたように、究極の深さまで探求することはできなかったのである³。

第Ⅱ部の議論においては、フックの光学研究を出発点として、このような先行するフック像を大胆に修正することが試みられる。筆者は、第Ⅰ部において、フックをアリストテレスの光の理論の墨守者と考えるウェストフォールの見方を否定した。以下の第Ⅱ部では、フックの光学理論に対する考察をさらにもう一歩進め、彼の議論を当時の天文研究の文脈の中に位置づけることによって、フック再評価を行なう。その議論の骨格は、以下のようなものである。

フックとニュートンの光学論争は、従来の研究では、色彩論をめぐるものとして扱われてきた。しかしこの論争は、ニュートンの反射式望遠鏡の提出によって始まったものであり、何にも先だって、天文観測器機である新しい望遠鏡の是非をめぐるものだった。後の議論で明らかにされるように、フックがニュートンの反射式望遠鏡を批判したのは、単なる思いつきからではなかった。フックは、1660年代から、望遠鏡による月や惑星の観測をさかんに行なっていた。彼は、優秀な性能を持つ巨大屈折式望遠鏡の作製者として知られており、天文分野での彼の研究は、当時の学界から認知を受けていた。なぜなら、フックは、「ガリレオ・パラダイム」と本論文が名付ける当時の天文研究伝統の主流の研究者の一人だったからである。フックは、科学革命の重要な要素であった天文学において、高い地位を占めていた。このことは、フックが科学の傍流ではなく、主流において重要な人物であったことを証明している。

第Ⅱ部の議論は、具体的には次のように展開される。冒頭の第一章では、天文学における「ガリレオ・パラダイム」という、第Ⅱ部の鍵となる概念の規定を行なう。このパラダイムは、ガリレオの望遠鏡が惹起した問題を受けて展開された天文研究のプログラムであった。ガリレオ以降の人々は、月の表面の形状や、土星の奇妙な形など、ガリレオの見つけた現象を確認したり、それを一層精緻に研究することに関心を持った。彼らはその探求のために、望遠鏡の改良にも熱心だった。従来の光学史では、望遠鏡の発展を語る際には、ケプラー、デカルトといった人々の光学理論への寄与を論ずるのが普通であった。これらの科学者は、望遠鏡を改良するのに、非球面レンズが必要であることを理論的に明らかにしていた。しかし、現実の望遠鏡の発展は、理論の予見する方向には進まなかった。試行錯誤の結果、当時の人々は、焦点距離の長いレンズを使う「長大望遠鏡」を作製することで優れた装置が得られることを学んだのであった。ガリレオ・パラダイムとは、このような望遠鏡の「本当の」発展と、これに基づく太陽系天体の観測の伝統を意味する。

第二章においては、この「ガリレオ・パラダイム」が、イギリスにおいてどのように受け入れられたかを分析する。このプログラムは、最初、イングランド北

³ DSB, vol. 6, p. 487r.

部の自然科学者達によって受容された。特に、ニューカッスル・サークルと呼ばれる人々は、望遠鏡に大きな関心を持っていた。イギリス革命の激化とともに大陸に渡った彼らは、そこでも優秀な望遠鏡を入手しようとした。この時期には、イギリスにおいても、望遠鏡を作製する職人が登場した。イギリス革命期のロンドンやオクスフォードの科学者グループのメンバーも、「ガリレオ・パラダイム」に関心を持っていた。やがて王立協会を組織する彼らは、望遠鏡の改良や天文観測に取り組んだ。中でも、クリストファー・レンは、自らの観測に基づいて、土星のモデルを組み立てた。このモデルは、ホイヘンスが発表した土星の輪のモデルとほぼ同時期のものであり、両者の構造は、非常に似通ったものであった。

第三章では、フックの天文研究の内容がいかなるものだったかを吟味する。フックの研究は、先行するイギリスの「ガリレオ・パラダイム」を引き継ぐものであり、具体的には、長大望遠鏡の改良や、これを用いた太陽系天体の観測が取り組まれた。フックは『フィロソフィカル・トランザクションズ』に、長大望遠鏡による惑星の観測を寄稿した。彼の望遠鏡改良の努力や天文観測の成果は、『ミクログラフィア』にも現れた。そこで扱われたレンズ研磨装置には、フランスから批判が寄せられ、フックとの論争が展開された。フックは、望遠鏡作製のために、望遠鏡職人コックとも強い関係を持った。彼らの望遠鏡は、大陸の観測家、ヘヴェリウスの目にとまり、彼から注文を受けるほどであった。フックは、長く使にくい長大望遠鏡を短縮する工夫にも取り組んだ。フックの望遠鏡の改良の試みについては、最近になってシンプソンが論文を著した⁴。しかし、シンプソンの研究は、器機としての望遠鏡に焦点を当てたために、フックがどのような天文学のコンテクストでこの改良に取り組んだのかという視点が欠落している。

第四章では、望遠照準や接眼マイクロメーターといった精密天文観測器機へのフックの取り組みを論じる。精密観測器機は、「ガリレオ・パラダイム」の第二期に入って本格的に登場した装置であった。これらはフックの発明品ではないが、彼はこれを改良し、実際の天文観測に利用しようとした。フックは、望遠照準や接眼マイクロメーターの使用に批判的なヘヴェリウスと、長期にわたる論争を展開した。ヘヴェリウスは、伝統的な肉眼観測を弁護し、フックは新しい観測器機の重要性を訴えた。フックとヘヴェリウスの論争の存在自体は、古くから知られていた⁵。ピュグリーズはこの論争にある程度の分析を加え、ベネットも、この論争が天文観測器機に関係することを論じている⁶。しかし、ピュグリーズの分析は、論争の部分を扱うに止まっている。また、両者の議論ともに、「ガリレオ

⁴ A. D. C. Simpson, 'Robert Hooke and Practical Optics: Technical Support at a Scientific Frontier' in *New Studies* (1989), pp. 33-61.

⁵ *Waller*, pp. xv-xviii; E. N. da C. Andrade, 'Robert Hooke', *Proceedings of the Royal Society, Series A*, 201 (1950b), pp. 439-473 (p. 453).

⁶ *Pugliese*, pp. 572-577; J. A. Bennett, 'Hooke's Instruments for Astronomy and Navigation' in *New Studies* (1989), pp. 20-32.

・パラダイム」の流れを考慮に入れていないために、フックの精密観測装置の意義を、天文学のコンテクストの中で正しく評価していない。精密観測器機は、1675年に設立されたグリニッジ天文台で必需品となるものであり、フックとヘヴェリウスの論争は、アマチュア天文観測家と、専門職業的な天文観測者という、二世代の科学者の態度を象徴するものとして興味深い。

第五章では、「ガリレオ・パラダイム」の流れの中で、ニュートン式望遠鏡の歴史的立場づけの再評価を試みる。フックとニュートンの論争は、「ガリレオ・パラダイム」に精通したフックと、学問伝統を理解していない学界の新人ニュートンの論争として今や把握し直されなければならない。フックがニュートンを批判したのは、反射式望遠鏡の実用性にフックが疑問を持ったからだった。フックは、ニュートンの光の粒子説にも非難を加えた。それは、ニュートンが見いだした色彩の現象は波動説でも説明できるとフックが考えたからであり、ホイヘンスの場合もそれは同じであった。だが、色彩論とは違って、反射式望遠鏡の可否は、理論上の論争ではなく、実用性をめぐるものだった。フックは、長大化などによって、屈折式望遠鏡の一層の改良が可能と考えていた。彼はニュートン式の反射式望遠鏡の作製を試みたが、実用レベルの装置を作ることはできなかった。屈折式望遠鏡に匹敵する反射式望遠鏡が登場するのは、1720年代以降を待たなければならなかった。従って、フックのニュートンに対する批判は、実際に天文観測を行なう立場からは、極めて当然の反応であった。これに対して、ニュートンは、彼の望遠鏡の理論的可能性を提示することで満足した。二人の態度の差は、実験器機の実用性をめぐる彼らの科学のスタイルの違いを反映したものであった。この両者の差異は、17世紀後半における数学的諸科学の衰退などと関係づけて考察されるであろう。

天文学の文脈からのフックの見直しは、もちろんフックの全ての側面での見直しにつながるものではない。第I部でも指摘したように、フックの力学研究にニュートン以上の評価を与えることは、恐らく今後も不可能なことであろう。しかし、科学革命の中心ともいえる天文学においてフックが高い地位を占めていたとするならば、ウェストフォールのように、フックに科学者として「平凡な評価」を加えることは、もはや不可能となるのである。

第一章 天文学における「ガリレオ・パラダイム」

フックと望遠鏡

ロバート・フックの取り組んだ自然学的研究は多岐にわたる。多くのテーマに興味分散していたことは、フックの研究の欠点であると考えられてきた¹。しかし、王立協会の機関誌にあたる『フィロソフィカル・トランザクションズ (Philosophical Transactions)』²に現れるフックに着目すると、これまで無視されてきた一つの傾向を見いだすことができる。

同誌の記事の中で、フックが自ら寄稿したもの、彼の研究に言及したもの、あるいは彼と強く関連を持つものは、現在までに37件が同定されている(文献の詳細については、付録3を参照)。これらを分類すると、第2表のようになる。

第2表 『フィロソフィカル・トランザクションズ』に現れるフック関係の論文の内訳

惑星・太陽・月の観測	13件	レンズの研磨法	2
望遠鏡レンズによる近視の矯正	1	望遠鏡のマイクロメーター	2
本の解説	2	顕微鏡観察	2
幻灯	1	海深測定・航海の改善	3
気圧計の改良	3	遠隔地の情報	2
動物の呼吸	1	飛行	1
風車の改良	1	water-poise	1
その他	2		

これらのうち、「惑星・太陽・月の観測」、「レンズの研磨法」、「望遠鏡のマイクロメーター」、「望遠鏡レンズによる近視の矯正」を合わせると、全体の半数近い18篇が望遠鏡に関係している。このことは、フックが望遠鏡に並々ならぬ関心を持っていたことを示している。

¹古くは、John Ward, *The Lives of the Professors of Gresham College* (London, 1740), p. 188, 最近では *New Studies*, pp. 1-2 などがこのことを指摘している。また、本邦では、島尾永康、『ニュートン』(岩波新書、1979年)、70ページ。

²オルデンバーグの死去による同誌中断(1677年1月より1683年1月)の一時期に、これに代わるものとしてフック本人が編集した *Philosophical Collections* を含む。

これらの望遠鏡に関係する記事の出版年の分布を見ると、1660年代に11件、70年に4件、80年代に3件である。従って、フックの望遠鏡関係の研究は、王立協会成立期の1660年代ごろに展開されたと思われる。フックは、彼の名を高めた顕微鏡に対するより以上の関心を望遠鏡に持っていたと考えられるのである。事実、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に掲載されたフックの顕微鏡関係の記事は2件に過ぎず、しかもそのうちの一篇は、レーウエンフック (Antoni van Leeuwenhoek, 1632-1723) の書簡の紹介である。

王立協会のホイヘンス

フックの望遠鏡に対する関心を正しく把握するためには、当時の王立協会における望遠鏡の意義を、歴史的コンテクストの中で理解することが必要である。ここではまず、フックの望遠鏡への関心が特殊なものではなかったことを確認するために、やや迂遠ではあるが、当時の有力な科学者の一人、ホイヘンスの王立協会での活動に着目したい³。それは、ホイヘンスが、長期に渡ってイギリスと密な関係を持ち、同時に、大陸でも有力な自然研究者だったからである。

ホイヘンスの父コンスタンティン (Constantijn Huygens, 1596-1687) は親英家のオランダの外交官であり、英語教育を息子に賦し、彼らにブレダ大学のイギリス人連との交際を勧めた。ホイヘンスの青年時代はイギリス革命期にあたり、英国から多数の自然学研究者がオランダに亡命していた。ホイヘンスは、彼らとも直接に交際することができた。

王立協会が創設されると、彼らの多くは協会の会員となった。同会は、会合で論じられた重要な内容について頻繁にホイヘンスに報告を送り、見解を求めた。一方、ホイヘンスも、自らの研究等について王立協会に書簡を送った⁴。彼はロンドンを数回訪問し⁵、王立協会の自然学者連と直接交流した。王立協会に現れるホイヘンスの活動は、当時のイギリスの科学者集団の関心を反映し、また科学者集団の国際的な関心の焦点を解明するための鍵を与えてくれる。

ここでは、ホイヘンスの活動を、王立協会の議事録 (Journal Book) の抄録として

³ホイヘンスと王立協会の関係については、M. B. Hall, 'Huygens' Scientific Contacts with England' in H. J. M. Bos et al. (eds.), *Studies on Christiaan Huygens* (Lisse, 1980), pp. 66-82などを参照のこと。

⁴Birchの随所を参照。この文通は、当初はホイヘンスの旧友のロバート・マレーを経て、また後には王立協会の書記のオルデンバークの手で直接行なわれた。

⁵判明した限りでは、彼は1661年、1663年、1689年にロンドンを訪れた。これについては、上記M. B. Hall(1980)の随所を参照のこと。1661年の訪問の際には、真空ポンプ、銃の反動、望遠鏡のレンズ、ボイルのサイフォンがホイヘンスの関心の対象であった。Steven Shapin and Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump* (Princeton, 1985), p. 235 および J. A. Bennett, *The Mathematical Science of Christopher Wren* (Cambridge, 1982), p. 71を参照。

知られている⁸トーマス・バーチ(Thomas Birch)の『ロンドン王立協会の歴史(The History of the Royal Society of London)』を基礎に、数量的に分析してみよう。ここでは、この本に登場するホイヘンスへの言及すべてに着目し、その時期と言及内容を統計的に分類する。

同書は、1660年から87年の王立協会の会合を扱っている。これはホイヘンスが31才から58才の時期に対応しており、王立協会の創設から書記のオルデンバーグの死(1677)までの、ホイヘンスと協会の関係が特に緊密であった時代をカバーしている⁷。

後世に編まれた『ロンドン王立協会の歴史』への索引によると、ホイヘンスの名前は同書に112回現れる⁸。ロンドン非在住外国人としては、ホイヘンスへの言及回数は最も多い⁹。1回の議論内容が多岐のテーマにわたる場合も勘案すると、彼の名前は全体で延べ126回登場する。この中には、単なる事務上の手続きやホイヘンスの著書への言及などもあるが、その多くはホイヘンスと王立協会の書簡のやり取りの記録である。

第3表は、ホイヘンスへのこの126回の言及を、分野別に整理してグラフにしたものである。王立協会でのホイヘンスの活動は、この図に示されているように、運動、真空ポンプ、時計、数学、望遠鏡・光学、天文のおよそ六つのテーマにわたっていた。

ここで運動の項目に分類されているのは、彼の完全弾性衝突問題への有名な取り組みを反映したものである。この問題については、彼とクリストファー・レンの理論の比較など、ほぼ1669年に集中的に王立協会ですり取りが行なわれた¹⁰。真空ポンプに分類されているものは、主に排気した容器内の水柱の異常な振る舞い(アノマリ)をめぐるもので、これは1662年から64年を中心に論じられた。ホイヘンスは1661年4月にイギリスを訪問したが、この時ボイルのポンプを見る機会に恵まれ、これを参考にして自ら装置を組み立てた。空気ポンプのホイヘンスによる移植(transplantation)と、彼の発見した実験のアノマリの問題について

⁸ Michael Hunter, *Science and Society in Restoration England* (Cambridge, 1981), p. 205.

⁷ M. B. Hall(1980), p. 77.

⁸ G. E. Scala, 'An Index of Proper Names in Thomas Birch, *The History of the Royal Society*, *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 28 (1974), pp. 263-329. 製本の都合で挿入されたホイヘンスの名前が1例あるが、これは無視した。なお、同一ページに複数回ホイヘンスの名前が現れる場合も、この索引では1回の登場とカウントされている。したがって、本論文の数量的分析は、一つの目安にすぎない。

⁹ 英国非在住外国人で名前が登場の回数の多い人物としては、ヘヴェリウスの99回、レーウェンフックの91回がホイヘンスに次ぐ。

¹⁰ A. R. Hall, 'Mechanics and the Royal Society, 1668-70', *Brit. J. Hist. Sci.*, 3 (1966b), pp. 24-38 (pp. 30ff).

第3表 王立協会でのホイヘンスの活動
 (Birchを元に作成)

西暦	望遠鏡・光学	天文	真空ポンプ	数学	運動	時計	その他
1661-	0	5	5	3	0	1	4
1663-	3	2	12	0	0	11	10
1665-	1	1	0	0	0	3	2
1667-	0	0	0	1	2	0	0
1669-	3	1	0	2	13	5	4
1671-	4	2	1	0	0	0	2
1673-	4	2	1	0	0	0	2
1675-	0	0	3	0	1	4	1
1677-	2	0	0	0	0	1	4
1679-	4	0	0	0	0	0	1

は、既にシェイピン (Steven Shapin) とシェーファーの優れた研究がある¹¹。ホイヘンスは、1660年代に大陸にボイルのポンプを移植した唯一の人物であった。時計をめぐる王立協会とホイヘンスのやり取りは、振り時計に関するものと、バネ付きテンプに関するものの二つから成り立っている。前者は1670年までに、後者は1675年以降に論じられた。数学をめぐるやり取りは、6件と数は多くはない。内容としては、求積やサイクロイドの問題が扱われた。

これら各々のテーマが比較的一時期に集中して議論されたのに対して、望遠鏡・光学に分類されているものは、長期にわたって繰り返り現れる。それは、レンズの研磨法やニュートンの望遠鏡・光学を扱ったものであった。天文学研究の内容が主に望遠鏡による惑星等の観測であることを考慮し、第3表の「望遠鏡・光学」と「天文」の件数を併せて作表した第25図を参照するならば、ホイヘンスの望遠鏡関係の議論は、『ロンドン王立協会の歴史』の対象とする時期に、ほぼ終始一貫して登場していることは明白である。

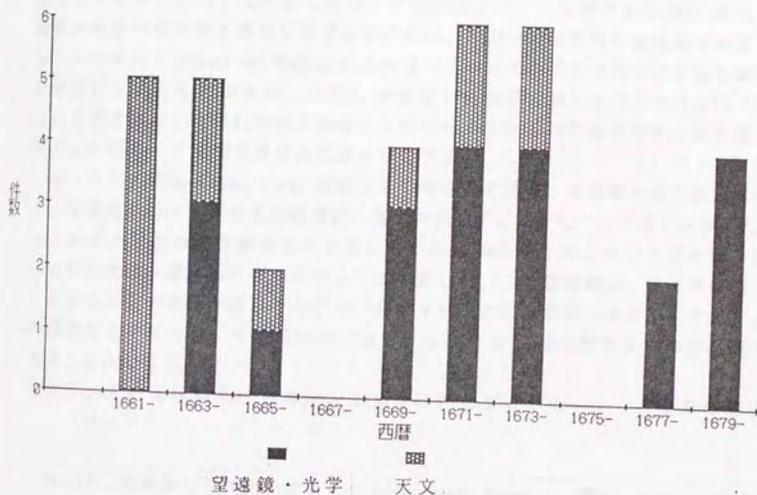
以上のような諸テーマが、当時自然学に関心を持つ人々の主要な関心であったことは、科学史家の常識と一致する。天文学や物体の運動の解析は、コペルニクスからガリレオを経てニュートンへという、いわゆる「科学革命」の中核をなすものであった。真空の問題はアリストテレス体系を根幹から脅かすものとして重要であり、広重の言葉を借りれば、「物理学において真に近代的な実験的方法がはじめて確立されたのは、17世紀の第2四半世紀以降、真空と大気圧の研究を通してであった」¹²。時計の改良の問題は、第1部の第七章で示したように、経度決定問題への一つの解答として、当時の自然学者達の関心を集めていた。ホイヘンスのイギリスにおける活動の分析は、これらの諸テーマが当時の重要な問題であったという我々の常識の正当性を再確認しているのである。その一方で逆に、ホイヘンスの関心が、当時の科学者集団の一般的関心と一致していたことも明らかである。

しかし、ここで注目しておくべきことは、『ロンドン王立協会の歴史』のホイヘンスへの言及のうち、望遠鏡等に関係するものが全体の三分の一にも及ぶという事実である。ホイヘンスにとって、望遠鏡は長期にわたる興味の対象だったのであり¹³、それは当然王立協会で話題となり続けたものでもあった。1660年代を中心とするフックの望遠鏡に対する興味は、彼個人に限定されたものではなく、この時期の「科学者」集団一般の関心を反映したものと考えられる。後の議論で

¹¹ 特に Shapin & Schaffer (1985), Chap. 6, pp. 235ff.

¹² 広重徹、『物理学史』（培風館、1968年）、第1巻、26ページ。

¹³ 原亨吉、「ホイヘンスを讃えて——編集者解説」、科学の名著、第2期第10巻、『ホイヘンス——光についての論考他』（朝日出版、1989年）、pp. xvi-xx. 望遠鏡をめぐるホイヘンスの光学の内容については、Takehiko Hashimoto, 'Huygens, Dioptrics, and the Improvement of the Telescope', *Historia Scientiarum*, 37 (1989), pp. 51-90 を参照。



第25図 ホイヘンスの望遠鏡関係研究の件数
 (第3表を元に作成)

確認されるように、望遠鏡は王立協会の会員の大きな関心の対象でもあり、実はニュートン登場にはるかに先立つ王立協会設立以前から、やがて同会に集う人々の関心を引き続けた問題だったのである。その関心を具体的に理解するためには、時代を遡って、望遠鏡の発明からこの時期までの歴史を簡単にたどる必要がある。

望遠鏡の発明と光学の発展

望遠鏡が誰の手によって発明されたかは定かではない。通説では、それは1608年ごろ、オランダの眼鏡職人リップルハイ(Hans Lipper(s)hey, d. 1619)によって発明されたと言われている¹⁴。これは、オランダのハーグに残された同年10月の議会の特許申請記録に基づく説である。だが、この分野の優れた研究家であるファン・ヘルデン(Albert van Helden)によれば¹⁵、レンズの組み合わせによって観察対象を拡大すること自体は、すでに16世紀の終わりに知られていたという¹⁶。それを望遠鏡として世に広めたのはリップルハイの特許の申請であり、その知らせは、外交ルートを経て諸外国に広まった¹⁷。

ガリレオ(Galileo Galilei, 1564-1642)はその噂を伝え聞き、望遠鏡を自ら組み立てた。望遠鏡を使った彼の天空観測は、当時の自然学に大きなインパクトを与えた。ガリレオが望遠鏡の情報を初めて耳にしたのは1609年7月。その8月には、彼は8倍の倍率の望遠鏡をヴェネツィアに持参した。この望遠鏡は、鉛の筒に凹レンズと凸レンズを各一枚取り付けた一般にガリレオ式(あるいはオランダ式)と呼ばれるものだった。その年の末には、ガリレオは20倍の倍率を持つ望遠鏡を作ることができた¹⁸。

ガリレオの天体観測の成果は、1610年3月にヴェネツィアで『星界の報告

¹⁴ 例えば、標準的な望遠鏡の歴史として知られる Henry C. King, *History of the Telescope* (London, 1955, repr., New York, Dover edition, 1979), p. 34 を見よ。

¹⁵ 望遠鏡の歴史を取り扱ったファン・ヘルデンの論文としては、'The Telescope in the Seventeenth Century', *Isis*, 65 (1974a), pp. 38-58; 'The Historical Problem of the Invention of the Telescope: 1611-1650', *Hist. Sci.*, 13 (1975), pp. 251-263; 'The Astronomical Telescope', *Annali dell' Instituto e Museo di Storia della Scienza*, 1 (1976), pp. 13-35; 'The Invention of the Telescope', *Trans. Am. Phil. Soc.*, 67 (1977a), part 4, pp. 1-67 などがある。

¹⁶ Helden(1977a), pp. 24-5。これは当初、視力を補うための装置に過ぎなかったと考えられるという(p. 15)。

¹⁷ Helden(1976), pp. 13-14; Helden(1977a), pp. 25-26。

¹⁸ ガリレオによる望遠鏡発明の問題と彼の望遠鏡観測については、Stillman Drake, *Galileo at Work* (Chicago, 1978), Chap. 8-10 [田中一郎訳、『ガリレオの生涯』、全3巻、共立出版、第2巻、1985年]を参照した。『星界の報告』に述べられた望遠鏡の倍率の記述(次注邦訳、15-16ページ)と本論文の記述の違いに注意。この点についてはドレイクの考察(邦訳、189-190ページ)が重要。

(*Sidereus nuncius*)』¹⁹として出版された。この本の中で彼は、月の表面に山や谷といった凹凸があること、また木星の周囲を回る四つの衛星(メディチ星)が存在することなどを述べた。これは、コペルニクス体系に有利な発見であった。さらにガリレオは、望遠鏡で恒星が余り拡大されないこと、銀河や星雲が星の集まりであること、また恒星がおびただしい数に上ることも記述している。1610年7月、彼は、望遠鏡で観測すると、土星の本体があたかも三つの星から成るように見えることを書簡に記録した。同年末には金星の満ち欠けを観測し、翌年の初めに太陽の黒点の観測を行なった。太陽黒点については1613年に書簡が公刊されたが、いずれの発見も、1632年の『天文対話(*Dialogo*)』に取り上げられた。

望遠鏡によるガリレオのこのような発見は、科学史においては主に二つの文脈中で議論されてきた。その一つは、アリストテレス体系からコペルニクス体系へという天文学の革新の文脈である²⁰。もう一つの議論の文脈は、光学の発展史におけるもので、デカルトを経てニュートンに到る光と色の理論の発展を扱うものである。ガリレオの望遠鏡は、天空観測装置としての望遠鏡の流行のきっかけとなり、その光学的改良は、自然科学者の大きな関心の対象となった²¹。ここではまず、以下の議論のために、この光学の発展史を手短かに論じよう。

光学の発展史

天文学への寄与で知られるケプラーは、ガリレオの望遠鏡が登場する以前から光学を研究していた²²。彼は、13世紀の光学者ウィテロ(Witelo)の名を冠した

¹⁹山田慶児・谷泰訳、『星界の報告・他一編』(岩波文庫、1976年)。同書は、1612年の「太陽黒点にかんする第二書簡」を収める。

²⁰例えば、Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 219-228 [常石敬一訳、『コペルニクス革命』、紀伊国屋書店、1976年、310-321ページ]などを参照。

²¹古くは Joseph Priestley, *The History and the Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London, 1772, repr., New York, 1978), Sec. III、今世紀では Edmund Hoppe, *Geschichte der Optik* (Leipzig, 1926), Kap. 3.1; Vasco Ronchi, *The Nature of Light*, trans. by V. Barocas (London, 1970), Chap. 3-4 から今日の様々の科学史の教科書(例えば前出のメイスンや広重)に至るまで、この種の歴史記述はごく一般的である。なお、田中一郎、『ニュートン光学の成立』、科学の名著第6巻、『ニュートン』(朝日出版、1981年)、pp. xiii-xxxix は、古代からニュートンまでの光学をコンパクトにまとめている。ガリレオ以降の光学の標準的な発展史としては、A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton* (London, 1967, repr., Cambridge, 1981)。

²²ケプラーの光学については、S. S. Mory, 'Kepler's Optics: A Study in the Development of Seventeenth Century Natural Philosophy', unpublished Ph. D. thesis, Indiana Univ., 1971; David C. Lindberg, *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler* (Chicago, 1976), Chap. 9、あるいは前出の Helden(1974a), pp. 40-45などを参照。

『ウィテロへの補足 (*Ad Vitellionem paralipomena*)』(Frankfurt, 1604)を出版した。ケプラーはそこで光の反射や屈折を論じ、カメラ・オブスクラ (*camera obscura*)を考察し、眼球中に結ばれる像が倒立していることなどを議論した。ガリレオの『星界の報告』を読んだ彼は、その影響の下で『屈折光学 (*Dioptrice*)』(Augsburg, 1611)を執筆した。ケプラーは、光の入射角と反射角が小さい角度では比例するという近似的な屈折の法則を用い、レンズによる像の形成を論じた。理論的な考察から彼は、ガリレオのように凹レンズと凸レンズを組み合わせた場合だけでなく、凸レンズを二枚用いて望遠鏡を組み立てることもできることを解明した。これは、ガリレオ式望遠鏡に対して、今日ケプラー式望遠鏡と称されるものである。ケプラーはさらに、球面の一部として研磨されたレンズが平行光を一点に集めないこと(球面収差)を指摘し、これを避けるには、双曲線状の断面を持つレンズが必要であることを明らかにした²³。

このケプラーの研究をさらに発展させたのは、デカルトの業績であった²⁴。1620年代初頭にオランダでケプラーの光学書を学んだデカルトは、パリでミュードルジュ (Claude Mydorge, 1585-1647)、メルセンヌ (Marin Mersenne, 1588-1647)、アローム (Jacques Alleaume) など、光学・幾何学・天文学等に関心を持つグループの人々と交際し、理論を発展させた。1626年ごろデカルトは、おそらくはスネル (Willebrord Snel, 1580-1626)とは独立に²⁵、光の屈折の法則 (sine 則) に到達した。彼は、この法則を、『方法序説 (*Discours de la méthode*)』(Paris, 1637)を序論に持つ三論考の一つ、『屈折光学 (*Dioptrique*)』の中で初めて公にし、法則が成立する背景を論議した。さらにデカルトは、屈折の法則を基礎にして、理想的なレンズが楕円または双曲線の断面を持つ必要があることを指摘している。彼は、作製の容易さから特に双曲線レンズを推奨し、その研磨装置も考案した。

ニュートンの反射式望遠鏡のアイディアは、球面収差を克服しようとするデカルトの光学研究の一つの起源としている²⁶。当初ニュートンは、デカルトに従っ

²³ M. Caspar and F. Hammer (eds.), *Gesammelte Werke*, 19 vols. (München, 1937-1975), vol. 4, pp. 387-389 & 371-372.

²⁴ デカルトの光学に関しては、Sabra(1967), Chap. 1-4. また、J. Schuster, 'Descartes and the Scientific Revolution, 1618-1634', unpublished Ph. D. thesis, Princeton Univ., 1977, Chap. 4.

²⁵ スネルとデカルトとの関係については、Sabra(1967), pp. 99-103. ミュードルジュは、デカルトが屈折法則を発見したことを示唆したが、実はミュードルジュ自身の方が、この法則をデカルトより明確に定式化したという。この点については、Schuster(1977), pp. 303ff. の議論を参照されたい。

²⁶ 拙稿、「ニュートンの光学理論形成とその背景」、東京大学大学院修士論文、1982年、第4章を参照されたい。またそのエッセンスは、拙稿、「ニュートンの光学」、吉田忠編、『ニュートン自然哲学の系譜』(平凡社、1987年)、185-222ページ。

て双曲線レンズを磨こうとしていた。だが彼は、プリズムのスペクトルの現象の考察から、白色光がさまざまな屈折性を持つ光線から構成されていることを発見した。彼は、それによって生じるレンズの色収差が、球面収差以上に望遠鏡の性能を劣化させるという結論を得た。この色収差克服のために、ニュートンはレンズの利用を放棄して、反射を用いた彼の望遠鏡を発明した。

「ガリレオ・パラダイム」

このような従来の光学史の記述は、光学史それ自体としては妥当なものであるが、ファン・ヘルデンが一連の論文で明らかにしてきたように、17世紀の望遠鏡の発展を正しく理解するには十分とはいえない。第一に、以上の歴史記述は、望遠鏡の発展史を光学の発展史と同一視することによって、試行錯誤に基づく当時の望遠鏡改良の努力の重要性を見失わせている²⁷。第二に、この記述では、ガリレオ以降の人々が実際にどんな天体を観測し、何を取り組むべき問題としていたのかが忘れられている。望遠鏡は、本来天体を観測するための手段に過ぎないのであり、観測対象についての観点の欠落した歴史記述は、きわめて一面的なものとならざるを得ない。

そこでここでは、ガリレオ以降の人々が現実に行なった望遠鏡の改良や天文観測の取り組みを、天文学における「ガリレオ・パラダイム」と命名し²⁸、その内容を検討してみたい。それは、ガリレオの望遠鏡が惹起した一連の研究を指すものであり、ガリレオ自身の研究に限られないものである。

以下の議論から明らかになるように、「ガリレオ・パラダイム」は、長大化による望遠鏡の漸進的改良と、その望遠鏡を用いた太陽系天体の観測を主な内容とするものであった。このパラダイムを構成するのは、必ずしも宇宙観を規定する問題だけではなかった。月面の正確な地図、木星や土星の衛星の個数、惑星の正確な自転周期、あるいは土星の正しい形状、惑星表面の状態などが観測の対象として取り上げられたが、このような課題は、コペルニクス説の是非とは相対的に独立の問題であった²⁹。

ガリレオの望遠鏡発明から約半世紀後にロンドン王立協会の人々やホイヘンスをとらえていたものは、望遠鏡の光学的な改良への関心だけではなく、より広い範囲を対象とする「ガリレオ・パラダイム」を展開することでもあった。

²⁷ Helden(1974a), p. 38.

²⁸ この用語は、ケンブリッジ大学の科学史博物館の 'curator' であるジム・ベネット氏の「ガリレオの伝統 (Galilean tradition)」という表現をヒントにしたものである。ベネット氏は、この表現を、筆者とのケンブリッジでの面会 (1993年2月18日)の際に使用された。

²⁹ Helden(1974b), p. 109.

望遠鏡の漸進的改良

ガリレオの望遠鏡が登場してからしばらくの間望遠鏡に主に期待されたのは、地上での使用であった。望遠鏡は、航海で遠方の船を同定したり、戦場で偵察をするのに用いられた。天空に向けられる場合には、ガリレオが観測したことの確認が主であり、使われる望遠鏡もガリレオ式のものだった。地上用と天文用の望遠鏡の分化は、ようやく1630年代の終わりから始まった³⁰。

ケプラーの望遠鏡は1611年に考案されたが、それが広範に使用されるようになったのは、ようやく1640年代のことである。これはイタリアのフォンタナ(Francesco Fontana, c. 1590-1656)やドイツのカプチン修道士レイタ(Antonius Maria Schyrilaus de Rheita)らの寄与であるといわれる。ケプラー式は、同一倍率のガリレオ式に比べて観測できる視野が30-40倍広い。望遠鏡は倍率が上がると視野が狭くなるので、ケプラー式はその点有利である。また、この方式は対象の像が実像であるために、測定器具(マイクロメーターなど)を装置の中に入れて使用できるという長所を持つ。しかし、観測対象が倒立して見えることは、当時の人々には大きな欠点と感じられたため、普及には時間がかかった³¹。

光学史が教えるところとは違って、ガリレオ式、ケプラー式いずれの場合にも、その改良の鍵は、双曲線や楕円状の非球面レンズを磨くことではなかった。ニュートンが1660年代になお非球面レンズを磨こうと努力していたことから分かるように、その試みは続けられてはいたが、結局は成功しなかったのである。

倍率の向上は当然の前提としても、望遠鏡の実際の改良の一つの方法は、レンズを正しく球形に磨き、分解能を向上させることだった。現存するレンズの分析によれば、性能は時代と共に向上した。例えば、38ミリ径のガリレオの1610年の望遠鏡の分解能は10秒だった。ほぼ同じ径を持つ1660年ごろの優秀な望遠鏡では、分解能は3.7秒となった。どちらも品質に大差のないベネツィアガラスで作られているが、ガリレオから50年経ったレンズの分解能は、光学的な理論限界近くに達しているという³²。

³⁰ Helden(1974a), pp. 43-44. 望遠鏡の改良については、King(1955), Chap. 3も見よ。邦語文献として、広瀬秀雄、『天文学史の試み』(誠文堂新光社、1981年)の第5章も参考となる。

³¹ Helden(1974a), pp. 40-42. 当時望遠鏡は高価であり、天文観測を行なおうとする者は、裕福なパトロンから器具を借りることが多かった。そしてパトロンは、望遠鏡を地上の観察でも使ったので、正立像が求められたという。Helden(1976), p. 19, n. 30を見よ。ケプラー式の普及過程については *ibid.*, pp. 19ff.、特に pp. 27-28 を参照。なお、測定器具を望遠鏡内に入れることは、ケプラー自身の関心ではなかった。測定器具の装着の問題については、本論文第II部第四章を見よ。

³² Helden(1974a), pp. 45-46. この優れたレンズは、後出のカンパーニ(Campani)作のものである。

望遠鏡の改良のもう一つの流れは、焦点距離の長いレンズを使って望遠鏡を作ることであった。長大望遠鏡が優れた性能を持つことは、理論的な探求ではなく、経験によって学びとられたと考えられる。このような望遠鏡は、1645年ごろから試みられ始めた。最初6-8フィート(約2メートル、倍率30倍)程度だったものが、1660年代に25フィートに、1670年代には40-50フィート(約13メートル)の長さになった。世紀末には、200フィート(約60メートル)という度外れに長いものまで現れた³³。試行錯誤の結果修得された長大望遠鏡の技術は、後知恵で考えれば、色収差を回避して高倍率を得ることを可能にするものだった。それはまた、球面収差の影響を免れる方途でもあった³⁴。

このような望遠鏡は、主に専門の職人の手で作られた。望遠鏡用のレンズは、眼鏡のレンズに比べて正確な研磨が必要であり、しかも焦点距離の長い、曲率の小さいものだった。そのため、普通の眼鏡職人では、良好なレンズを得るのは難しかった³⁵。

1630年代に到るまで、最高の望遠鏡はガリレオ自身のものだった。例えばガッサンディ(Pierre Gassendi, 1592-1655)は、1635年にガリレオの望遠鏡を一台入手したが、これは彼がそれまで使用したうちで最善のものだった。ガリレオは、望遠鏡の需要に応えるために、職人フランチーニ(Ippolito Francini, 1593-1653)を雇ったほどであった³⁶。

長い間ガリレオの水準で停滞していた望遠鏡の技術は、1640年ごろから徐々に発展を始めた。ガリレオの望遠鏡を超えたのは、ナポリのフォンタナだった。前ページで論じたように、フォンタナの望遠鏡はケプラー式であり、ガリレオのものよりも高い倍率と、広い視野を持った³⁷。

ガリレオを継いだトリチェッリ(Evangelista Torricelli, 1608-47)は、フィレンツェの名声を取り戻すべく努力を重ねた。その結果、1646年ごろまでに、トリチェッリの望遠鏡はイタリアで最も有名なものとなった。しかし、これが真にフォンタナを凌ぐ性能を持ったのかどうかは知られていない。

この時期に、アルプスより北の地域で名を知られていた望遠鏡職人は、アウグスブルクのヴィーゼル(Johannes Wiesel)であった³⁸。望遠鏡の改良に関心を持って

³³ Helden(1974a), pp. 46-47. ただし、各時代の平均長以上の望遠鏡は、性能の問題があり、天文観測にはあまり貢献しなかったという。

³⁴ 球面収差の大きさは、レンズの焦点距離の自乗に反比例する。なお、望遠鏡の倍率は、対物レンズの焦点距離と、接眼レンズの焦点距離の比である。

³⁵ Helden(1976), p. 26; Helden(1974a), p. 49.

³⁶ M. L. Righini Bonelli and A. van Helden, 'Divini and Campani: A Forgotten Chapter in the History of the Accademia del Cimento', *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 6 (1981), pp. 2-176 (pp. 4-5).

³⁷ *Ibid.*, p. 5.

³⁸ 彼は、レイタから多くを学んだと言われる。Helden(1976), p. 32.

いたイギリスのチャールズ・キャヴェンディッシュ (Charles Cavendish, 1591-1654) は、1644年に亡命先のハンブルクでヴィーゼルの望遠鏡のこゝれを知り、これを手しようとした。またハートリブ (Samuel Hartlib, d. 1670?) のグループの一人は、実際にヴィーゼルから望遠鏡を買っている。ヴィーゼルの望遠鏡は、複合接眼レンズ (compound eyepiece) を使用していたと言われる³⁸。

これらの望遠鏡を抜き、1650年ごろにヨーロッパで最高の職人としての榮譽を勝ち取ったのは、ローマのディヴィニ (Eustachio Divini, 1610-1685) である。時計職人としてローマで仕事を始めた彼は、1646年にレンズ職人に転じた。彼は10メートル近い長さの強力で高品位の望遠鏡を供給した。フォンタナやディヴィニは学識ある新しい形の職人であり、自らも天文観測を行なって著作を出版した⁴⁰。ディヴィニは、土星の形状をめぐるホイヘンスと論争を展開したほどだった⁴¹。

ローマの若い職人カンパーニ (Giuseppe Campani, 1635-1715) は、このディヴィニの望遠鏡を、当地の望遠鏡の腕くらべ (paragone) で打ち破った⁴²。カンパーニは、時計職人と科学に関心を持つ牧師を兄弟に持ち、1660年ごろから望遠鏡作製に乗り出した。彼の望遠鏡は接眼レンズ系に工夫があり、それまでのものより短くても高い性能を得ることができた。当時既に150倍もの倍率を持つに到った望遠鏡にとって、広い視野を与える接眼レンズ系は重要だった⁴³。あるいはまた、彼のレンズはガラスの質が良く、ガラスの研磨に用いた旋盤やレンズの検査法にも工夫があったといわれる⁴⁴。

³⁸ Helden(1976), pp. 32-33; *idem*, 'The Development of Compound Eyepieces, 1640-1670', *J. Hist. Astron.*, 8 (1977b), pp. 26-37 (pp. 27-29). 屈折式望遠鏡にさらにいくつかのレンズを加えて複合レンズ系にすると、像を正立させたり、視野を広げたりすることができる。そのために使用される複合接眼レンズには、現在ではホイヘンス (ハイゲン) 型、ケルナー型、ラムステン型などのいろいろのタイプがある。ホイヘンス型は1663年に現れた (Helden(1981), p. 17)。なお、多レンズ系については、すでにケプラーが『屈折光学』で言及していた。

³⁹ Bonelli & Helden(1981), pp. 8-11.

⁴⁰ Albert van Helden, 'Eustachio Divini versus Christiaan Huygens: A Reappraisal', *Physis*, 12 (1970), pp. 36-50. この論争では、ホイヘンスが勝利を取めた。このため、ディヴィニの望遠鏡の性能自体にも、誤って疑問が持たれたという。

⁴¹ カンパーニについて、また彼とディヴィニの望遠鏡の腕くらべについては、Bonelli & Helden(1981), pp. 14ff. 詳しく吟味すると、カンパーニの優位は、演出の効果なども影響しており、決定的なものではなかったという。

⁴² Bonelli & Helden(1981), pp. 15-18.

⁴³ A. D. C. Simpson, 'The Early Development of the Reflecting Telescope in Britain', unpublished Ph. D. thesis, Edinburgh University, 1981, p. 17. カンパーニは、鋳型を使わずに旋盤で直接ガラスを研磨したと主張したが、ヘルデンらは、この言明に疑問を示している。Bonelli & Helden(1981), pp. 26-27.

カンパーニの望遠鏡は、1664年4月の腕くらべでディヴィニの望遠鏡に勝利を収めた。この噂は、すぐにヨーロッパ中に広まった。ボローニャ大学の天文学の教授であったカッシーニ(Giovanni Domenico Cassini, 1625-1712)は、前年以來の望遠鏡の腕くらべに立ち会い、やがてカンパーニの望遠鏡を用いて数々の発見を成し遂げた。カッシーニは、1669年にフランスに招聘され、1671年にパリの新天文台の台長となった。ここでもカンパーニの望遠鏡が活躍し、カッシーニの名声もあって、カンパーニの望遠鏡は高い評価を受けた⁴⁶。

月と土星の観測

このような望遠鏡を通して、当時の人々はいったい何を見ていたのだろうか。17世紀前半の人々にとっては、月や太陽、金星、木星、土星などの諸惑星、そしてそれらの衛星といった、今日でいう太陽系の天体が主な観測の対象だった。恒星は、惑星の位置を決める準拠座標としての役割を持つに過ぎなかった⁴⁶。

太陽系の天体の観測は、ガリレオの観測したものの確認から始まり、観測の精密化へと向かった。そしてようやく1640年代中ごろになって、既知の事実の精密化以外に、新しい発見が加えられるようになった。これが本格化するのには、1650年以降のことであった⁴⁷。ここでは当時の観測の中から、月と土星をめぐる探求を例として取り上げて論じよう。

天体の観測の中で、月の表面の観測は多くの人の関心を引いた問題であった⁴⁸。その目的の一つは、ガリレオの月世界と地上世界の類似性の主張を確かめることであった。これから派生して、やがて月表面の精密な地図を作成する月面誌(selenography)という新しい分野が現れた。それは、コペルニクス体系の真偽の確認のためというよりは、むしろ純粋に天文学的な月の扱いを目的としたものだった。それゆえに、その研究を行なったのは、コペルニクス説の支持者に限られなかった⁴⁹。月面地図は、恒星の月による掩蔽や月蝕の予測に重要であり、その正確な知識は、経度決定問題の解決にも応用が可能だった。

月面誌は、ガッサンディ、ヘヴェリウス(Johannes Hevelius, 1611-1687)、リッチ

⁴⁶ Bonelli & Helden(1981), p. 39; King(1955), pp. 58-59. 彼の発見等については、本論文第四章の冒頭を見よ。

⁴⁷ Bonelli & Helden(1981). 彗星も当時は10個程度しか知られていなかったという。

⁴⁸ Bonelli & Helden(1981); Helden(1974a), pp. 53-56.

⁴⁹ 当時行なわれた様々な月面観測の取り組みについては、Van de Vyver, 'Lunar Maps of the Seventeenth Century', *Vatican Observatory Publications*, 1 (1971a), pp. 69-83; *idem*, 'Original Sources of Some Early Lunar Maps', *J. Hist. Astron.*, 2 (1971b), pp. 86-97 を見よ。また Helden(1974a), p. 42 も参照。

⁵⁰ 月面観測に二つの目的があることについては、Vyver(1971a), p. 69. 後出のリッチョーリ(Riccioli)は、コペルニクス体系の強固な反対者としての立場から、天文研究に取り組んだ。Helden(1974a), p. 53 を見よ。

ヨーロッパの関心の対象となった⁵⁰。ガッサンディは、彩色した月の地図を作成するアイデアを持っており、友人ペルスク(Nicolas Peiresc, 1580-1637)の助力を得ることができた⁵¹。彼らは、ムラン(Claude Mellan)という画家に、1630年代のころに月面の図を描かせた。スペインのフェリペ四世の天文学者だったラングレン(Michel Florent van Langren, 1600-1675)は、経度決定の問題への関心から、月面誌に関心を持った。彼の月面図は現在もヨーロッパ各地に残り、模造品も作られた。彼は、月面の地形に325の名称を与えたという⁵²。ケプラー式の望遠鏡を普及させたレイタとフォンタナも、月面の図を残した。

1640年代になっても、なおガリレオ式の望遠鏡で月面を観測していたのがヘヴェリウスである⁵³。彼は、ガッサンディらの研究に刺激を受けて研究を展開した。ヘヴェリウスの『月面誌(*Selenographia*)』(Gdansk, 1647)は500ページを超える大著であり、彼の4年間の観測を集成したものである。これにより彼は、「月面地形学の祖」の名を与えられた。この本では、274にも及ぶ月面地形に名前がつけられた⁵⁴。

その名前のいくつかは現在でも使われているが、基本的には、イエズス会士リッチョーリの1651年の浩瀚な著作、『新アルマゲスト』の名称体系によって書き換えられた⁵⁵。リッチョーリの本の第4巻第7章には、二枚の月面図が収められている。これは、彼のイエズス会の友人で、回折現象の発見者でもあるグリマルディ(Francesco Maria Grimaldi, 1618-1663)の描いたものである⁵⁶。

⁵⁰ ヴァイヴァー(Vyver)は、彼らに先だってイギリスのトーマス・ハリオット(Thomas Harriot)が月面の地図作成を行なったことに言及している。Vyver(1971a), p. 71を見よ。ハリオットの月面の観測と太陽黒点の観測の取り組みは、ガリレオに先行するものだが、彼の観測は、18世紀末に至るまで世に知られなかった。詳しくは、John North, 'Thomas Harriot and the First Telescopic Observations of Sunspots' in John W. Shirley (ed.), *Thomas Harriot* (Oxford, 1974), pp. 129-157を参照。

⁵¹ ガッサンディについては、Vyver(1971a), pp. 71-72。

⁵² *Ibid.*, pp. 72-74。彼は、月蝕や月の満ち欠けの観測から経度を決定することを考えた。

⁵³ Helden(1976), p. 35。ガリレオ式は、色収差が小さく、隈取りの虹が現れにくいので、より鮮明な像を与える。なお、ヘヴェリウスについては、次々章の「天文観測家ヘヴェリウス」の節を参照。

⁵⁴ Vyver(1971a), p. 76。ヘヴェリウスの『月面誌』については、Mary G. Winkler and Albert van Helden, 'Johannes Hevelius and the Visual Language of Astronomy' in J. V. Field and Frank A. James (eds.), *Renaissance and Revolution* (Cambridge, 1993), pp. 97-116を参照。

⁵⁵ King(1955), p. 51; Arthur Berry, *A Short History of Astronomy* (London, 1898, repr., New York, Dover Pub., 1961), p. 199; A. Pannekoek, *A History of Astronomy* (London, 1961), p. 257。

⁵⁶ Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum novum* (Bologna, 1651), pp. 203-206; Vyver(1974a), pp. 77-78。

これらの月面図のうち、後世から見て最も大きい影響力を持ったのは、リッチョーリ＝グリマルディとヘヴェリウスのものである。しかし、このような月面図作成の努力は、その後も数々の人の手で17世紀いっぱい続けられた⁵⁷。

望遠鏡で見える土星の奇妙な形状も、当時の天文研究者の関心をそそったものの一つであった。先にも述べたように、ガリレオは1610年に、土星があたかも三つの星から成っているように見えることを書き記した。中央に土星の本体があり、それに小さな二つの星が隣接していた⁵⁸。低倍率の望遠鏡では、この三つの部分が一体となり、長円に見えた。ガリレオは土星が三体からなると結論して観測をしばらく行なわなかった。だが驚いたことに、1612年秋に観測すると、随伴する二つの星は消滅し、土星は木星のように丸く見えた。失われた二つの星は、ガリレオの予測の通り、翌年夏に再び姿を現した。1616年8月には、今度は各々の随伴星に三角形の影が現れ、土星はあたかも二本の半円状のハンドルを持つように見えた。後の『天文対話』でガリレオは、このような土星の形状の変化が、本体の回転のためであることを示唆した⁵⁹。

現在の目からみれば、このような現象は、土星の輪が様々な角度から観察されることによって起こる。土星の輪には数百メートルしか厚さがなく、地球から見て垂直になると、現在の望遠鏡でも観測することはできない。輪が地球に対して傾くと、望遠鏡の性能によっては、その姿は土星本体に二つの星が随伴するように見える。

土星についての自然学者達の議論は、ガリレオの発表の直後に始まったのではない。1630年代中ごろになって、ようやく土星の「腕」についての観測や仮説が提出されるようになった。

比較的早くから土星を観測していたのは、ガッサンディであった。彼は1633年の夏から土星に取り組み、いくつかの図を記した⁶⁰。ケプラー式望遠鏡を流布させたフォンタナは、1638年に二本の半円状のハンドルが付いた土星の姿を描き、1646年にこれを出版した⁶¹。1642年に土星が再び球形になったことで、人々のこの星への関心はようやく加速した。ヘヴェリウスはこの年に、またリッチョーリとグリマルディは翌年に観測を開始した。ヘヴェリウスは、彼の観測図を1647年の『月面誌』に収め、リッチョーリは、1651年の『新アルマゲスト』で

⁵⁷ Vyver(1974a), p. 69.

⁵⁸ Drake(1978)の邦訳、205-207ページ、250ページ、352ページ。土星に関する議論では、Alvert van Helden, 'Saturn and His Anses', *J. Hist. Astron.*, 5 (1974b), pp. 105-121を参照。ガリレオは、土星についての発見を、アナグラムの形でケプラーに書き送っている。

⁵⁹ Galileo Galilei, *Dialogo* (1632) [青木靖三訳、『天文対話』、全2巻、岩波書店、1959-61年、邦訳、上、390ページ]。

⁶⁰ Helden(1974b), pp. 111-112.

⁶¹ *Ibid.*, pp. 112-115.

自分の観測図を示すと同時に、それ以前の土星の図の分類を論じた⁶²。ヘヴェリウスは1656年に、随伴物の本性は、二つの鎌型の腕であると述べた。前節で論じた望遠鏡職人のディヴィニは、1649年に、卵形状の土星の観測図を描いた⁶³。

土星が輪を持つという理論は、ガリレオの発見の約半世紀後に、ホイヘンスの『土星の体系 (*Systema Saturnium*)』(Den Hague, 1659)で提唱されたものだった⁶⁴。彼はまず、自作の望遠鏡で発見した土星の衛星を論じ、さらに同じ望遠鏡で観測した様々の土星の形状を述べた。その後、ガリレオ、シャイナー、リッチョーリ、ヘヴェリウス、ディヴィニ、フォンタナ、ガッサンディなどの約40年にわたる土星の観測図(第26図)を整理し、これらの図に対して批判的な考察を加え、その上で自らのモデルの優位性を示した⁶⁵。

このように、ガリレオの望遠鏡は、月や土星をめぐる問題を提起した。これらに加えて、木星の衛星の観測も、ガリレオによって提起された課題であった。ガリレオ自身が提案したように、木星の衛星の運動を正確に知ることができれば、その動きを時計の針代わりを使って、経度決定問題にある程度の解答を与えることも可能であった⁶⁶。

このような太陽系天体の観測および望遠鏡の漸進的改良は、ガリレオ以降の「通常科学」ともいうべきものであり、これを含むガリレオ以来の課題を、我々は「ガリレオ・パラダイム」と命名したのであった。

王立協会と望遠鏡の図像学的位置

ところで、この「ガリレオ・パラダイム」は、我々の関心の中心であるべきイギリスにおいては、どのように扱われていたのだろうか。これを端的に現しているのが、手稿に遺されたウォリスの証言である⁶⁷。ウォリスは、80才の高齢を迎えたとき、知人の求めに応じて、自伝を口述した。彼は、自分が数学に関心を

⁶² *Ibid.*, pp. 113-115.

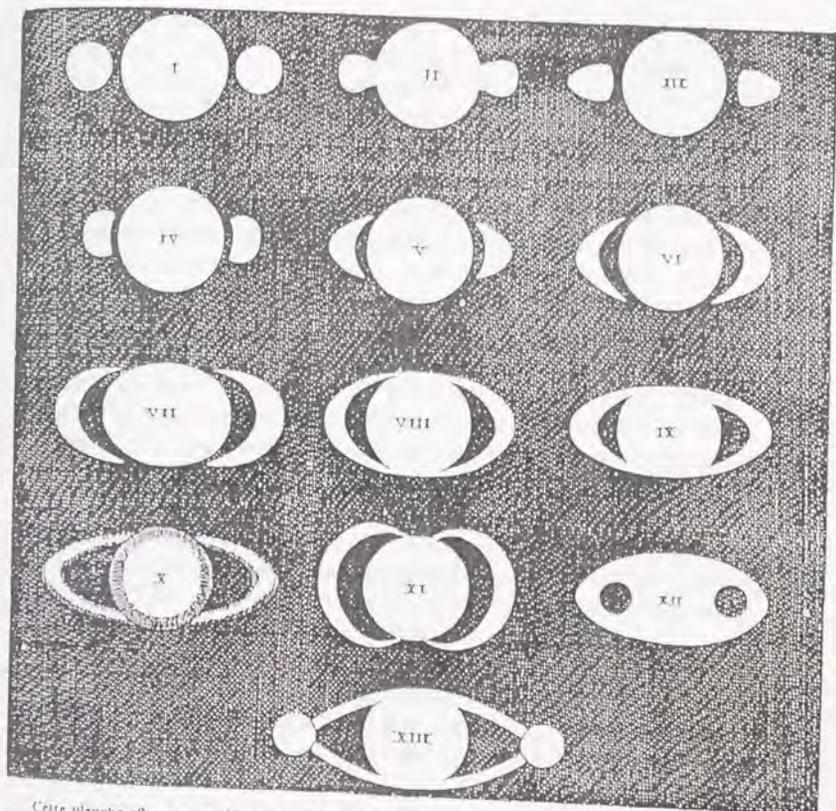
⁶³ Helden(1970), p. 37.

⁶⁴ *Oeuvres* 15, pp. 209-353. 『土星の体系』は、安藤正人氏によって前半約2/3が訳出されている。これは、科学の名著、第2期第10巻、『ホイヘンス—光についての論考他』(朝日出版、1989年)、117-176ページ。なお、ガリレオの望遠鏡がそれ以後の土星研究の始まりとなったことについては、邦訳の121ページ以下のホイヘンス自身の記述を見よ。

⁶⁵ 前掲書、142ページ以降を参照のこと。

⁶⁶ Drake(1978), 邦訳、245ページ。

⁶⁷ 原本は、オクスフォード大学中央図書館(Bodleian Library)所蔵の'Smith Papers'に残されている。これを転記し、解説したものとして、Christoph J. Scriba, 'The Autobiography of John Wallis, F. R. S.', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 25 (1970), pp. 17-46. なお、これと部分的に重複する内容を持つものとして、John Wallis, *A Defence of the Royal Society* (London, 1678), pp. 7-8.



Cette planche est une reproduction de celle qui se trouve vis-à-vis de la p. 14 de l'édition originale du „Systema Saturnium” et qu'on retrouve encore vis-à-vis de la p. 20 de la „Brevis annotatio” (édition de Huygens: voir les pp. 271 et 431 du Tome présent).

Fig. I représente une observation de Saturne par Galilée de 1610, Fig. II une observation de la même planète par Scheiner de 1614 et Fig. III par Riccioli de 1641 ou 1643. Fig. IV—VII représentent des formes suggérées par Develius en conséquence de sa théorie, Fig. VIII et IX des formes observées par Riccioli en 1648—1650. Fig. X est la reproduction d'une figure de Divini tracée d'après ses observations de 1636—1648. Fig. XI et XII représentent respectivement des observations de Fontana en 1636, et de Cassendi en 1646. Fig. XIII enfin des observations faites à Naples par Fontana et par d'autres à Rome, en 1644 et 1645.

Voir la discussion détaillée de ces Figures par Huygens aux p. 271—283 du Tome présent.

持つようになった経過を述べるだけではなく、ロンドン王立協会の成立のいきさつにも触れた。その中に、1645年ごろのロンドンの自然学者達の活動を描いた部分がある。それは、イギリス革命の進行に伴って、彼らがオクスフォードとロンドンの二つのグループに分割される以前のことであった。当時グレシャム・カレッジなどに集っていた彼らにとって、

仕事の一つは（神学と国政の問題は排除して）、医学、解剖学、幾何学、天文学、航海術、静力学、磁気学、化学、機械学、自然実験といった哲学的研究やそれに関係するものについて語り合い、考察することであり、また、国内外で明らかにされたそれらの研究の現状について議論し、考えることであった。我々はその場で、血液の循環、静脈中の弁、コペルニクスの仮説、彗星の本質、新星、木星の衛星、土星の長い形（当時はそう見えた）、太陽の黒点、自身の輪の回りの太陽の回転、月の凹凸と月面誌、金星と彗星の様々な相、望遠鏡の改良、そのためのガラスの研磨、空気の重さ、真空の可能・不可能、自然の真空嫌悪、トリチェッリの水銀での実験、重い物体の落下とその時の加速度の度合い、その他これに類する様々の事柄を論じあったのである⁶⁸。

すでに吉本が指摘しているように、彼らの論じた話題は、「1645年という時点でヨーロッパ科学の最前線の研究事項をほぼ余さず含んでいる」⁶⁹。確かに彼らは、ハーヴェーの血液循環学説、コペルニクスの天文学、真空の存在の可否といった当時の非常に重要課題を取り上げていた。

しかし、ここで注目すべきなのは、グレシャム・カレッジに集った科学者達が具体的にどのような天文学のテーマを論じたのかに触れた部分である。そこには、木星の衛星、土星の形状、太陽の黒点と自転、月の凹凸、月面誌、金星の諸相、そして望遠鏡の改良という、まさに本章で論じてきた「ガリレオ・パラダイム」に該当するテーマが列挙されている。

このことから、王立協会黎明期の人々の関心が、単に光学的な望遠鏡の改良だけではなく、むしろもっと広い天空全般の観測にあったことは明白である。彼らにとって、望遠鏡のレンズの研磨という光学的改良は、多くのテーマの一つに過ぎなかった。

このような「ガリレオ・パラダイム」への彼らの関心は、約15年後に彼ら再びロンドンに集まって王立協会を組織したとき、すでに失われてはいなかったであろうか。結論から先に言えば、望遠鏡観測に対する彼らの関心は、ウォリスの証言の1645年から王立協会発足の1660年まで、絶えることなく探求され続けたのである。その詳細は次章で論じることとして、ここでは彼らの関心を象徴す

⁶⁸ Scriba(1970), p. 40.

⁶⁹ 吉本秀之、「ロバート・ボイル——人と仕事」、科学の名著、第2期第8巻、「ボイル」、(朝日出版、1989年)、pp. ci-clxxxvii (p. cxii).

る図像とその解釈を示して、この章を結ぶことにしたい⁷⁰。

その図像とは、スプラットの『王立協会史』の扉絵である(第27図a)⁷¹。この書物は、王立協会を社会的批判から守るために同協会の指導の下で執筆されたものであり、協会の性格・組織・活動を記している。その扉絵は、ピーブスに並ぶ日記作家として知られるイヴリン(John Evelyn, 1620-1706)が描いたものである。絵の中央には王立協会のパトロンである国王チャールズ二世の胸像を置き、その右に協会の思想的バックボーンとされるフランシス・ベーコン、左に初代会長のブランカーを配している。この人物配置自体象徴的なものであるが、シェイピンとシェーファーは、彼らの著書『リヴァイアサンと空気ポンプ』で、これらの人物の背後に描かれた実験器具に注意を促している⁷²。特に彼らは、チャールズ二世とブランカーの頭の間に置かれた、丸い頭部を持つ真空ポンプに着目する。シェイピンとシェーファーによれば、当時ボイルの真空ポンプは、王立協会がその実験プログラムの象徴として誇ることでできる最高のものであり、それ故これがスプラットの『王立協会史』に収められたのである⁷³。

もしこの解釈が妥当であるとするならば、この扉絵は、王立協会において、望遠鏡が真空ポンプに匹敵する地位を占めていたことも同時に立証している。それは、シェイピンとシェーファーが彼らの本に収めた先の図の部分拡大図(第27図b)から分かる⁷⁴。これを良く見ると、真空ポンプの背後に、高い塔に据え付けた筒を一人の人物が覗いているスケッチがある。一見奇妙なこの筒こそ、当時天文学に関心を持つ人々が盛んに改良に取り組んだ長大望遠鏡を示すものであり、この図はそれを用いた天文観測を象徴しているのである。

初期王立協会におけるボイルの真空ポンプの意義は、科学史家によって当然のこととして認められてきた。しかしながら、王立協会における望遠鏡観測の重要性は、これまで十分に論じられることがなかった。

シェイピンとシェーファーは、真空ポンプの重要性の一つの根拠として、それが非常に高価であったことを挙げている。その価格は、控えめにみて25ポンドであったという。これは王立協会のフックの年俸に匹敵するものであり、「真空ポンプは17世紀の『ビッグサイエンス』であった」⁷⁵。

しかし、良好な長大望遠鏡の価格は、これをはるかに凌ぐものだったということを指摘しておく必要がある。1660年代に、36フィート(約9メートル)の望遠鏡の値

⁷⁰ 科学史研究における図像解釈の重要性を指摘した初期の論文として、C. R. Hill, 'The Iconography of the Laboratory', *Ambix*, 22 (1975), pp. 102-110 を挙げておく。

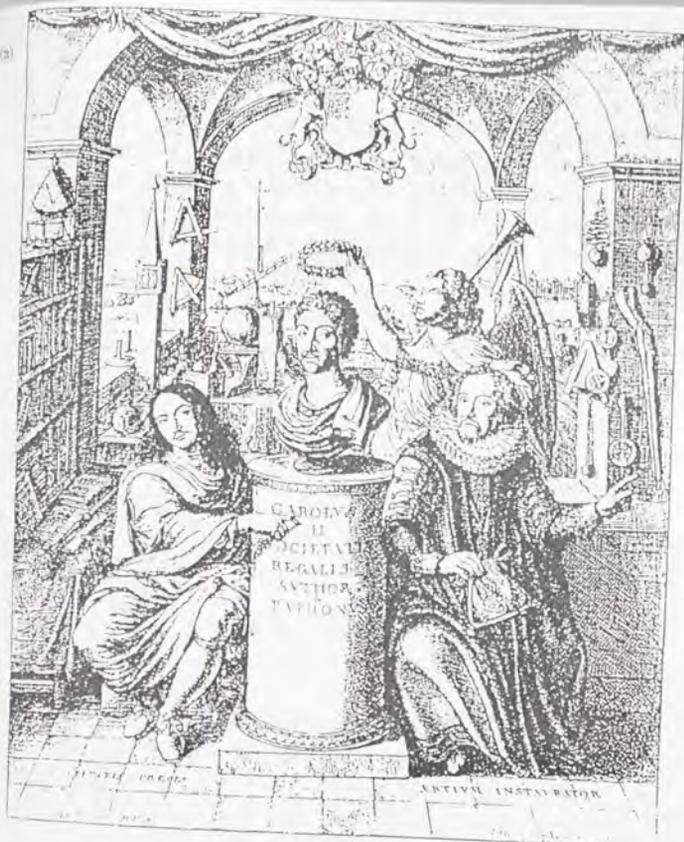
⁷¹ この扉絵がこの本に採用された経過については、Hunter(1981), pp. 194-197 を参照。

⁷² Shapin & Schaffer(1985), pp. 30-35 ('The Air-Pump as Emblem').

⁷³ *Ibid.*, p. 32.

⁷⁴ *Ibid.*, p. 260, Fig. 17.

⁷⁵ Shapin & Schaffer(1985), p. 38.



第27図 Thomas Sprat, *The History of the Royal Society* (London, 1667) の扉絵
 全体図 (a) とその部分拡大図 (b)。 (b) の左下部分にはボイルの真空ポン
 プが、その背後には長大望遠鏡が描かれている。

段は30ポンドであった。当時の最先端ともいべき60フィート(約18メートル)望遠鏡ともなれば、その価格は何と100ポンドにも達したのである。長大望遠鏡は、普通の個人の手の届くものではなかった。それは、ボイルのような裕福な貴族で初めて購入できるものであり、あるいは、多人数で共有することで初めて手の及ぶものになった⁷⁶。だから長大望遠鏡は、国力の尺度となり得るものであり、国威のかかった大装置でもあった⁷⁷。

⁷⁶ 当時の望遠鏡の価格については、Thomas H. Court and Moritz von Rohr, 'New Knowledge of Old Telescopes', *Transactions of the Optical Society*, 32 (1930-1), pp. 113-122 (p. 121) および Simpson(1989), p. 39, n. 20 のリーヴのボイル宛の価格見積を参照。参考までに述べると、17世紀後半のオクスフォード大学の年間学費は50ポンドであった。L. Stone et al. (eds.), *The University in Society* (Princeton, 1974), vol. 1, p. 43.

⁷⁷ Simpson(1989), p. 44.

第二章 イギリスにおける望遠鏡

前章の冒頭に述べたように、フックは、望遠鏡とそれによる観測についての記事を、1660年代を中心に『フィロソフィカル・トランザクションズ』に寄稿した。このことは、「ガリレオ・パラダイム」が、主に王立協会成立初期に会員の関心を引いていた可能性を示唆する。実際、第1部第三章の第4図で見たように、『フィロソフィカル・トランザクションズ』の1665年から1702年までの論文の統計的分析によると、天文学関係のものは、王立協会成立初期に多い。つまり、王立協会会員となる人々の興味を1640年代中葉に引いた「ガリレオ・パラダイム」は、王立協会の初期の活動の中で大きな位置を占め、その興味は、やがて弱まっていったと想像される。

従って、フックの望遠鏡への関心を理解するためには、王立協会に先立つイギリスの自然学研究者の活動に着目する必要がある。本章では、イギリスの自然学者達が1640年代から60年代にかけて行なった望遠鏡に関係する取り組みを概観し、その中でフックの天文観測の位置を考察したい。

初期の望遠鏡への取り組み

イギリスにおける最初の望遠鏡観測は、1609年に遡ることができる。ガリレオが望遠鏡を作製したのと同じこの年に、トーマス・ハリオット(Thomas Harriot, c. 1560-1621)は、望遠鏡で月の観測を行なった。しかし、ケプラーなどと文通していたにも関わらず、彼の観測は外に広まることなく歴史に埋もれてしまった¹。

その後の発展につながる形で望遠鏡に取り組んだのは、知られる限りウィリアム・ガスコイン(William Gascoign, c. 1612-1644)が最初であろう。リーズ(Leeds)近郊のミドルトン(Middleton)に居を構えた彼は、イングランド北西部の天文愛好家グループの一人であった²。ガスコインは、1640年ごろに、望遠照準(telescopic

¹ John North, 'Thomas Harriot and the First Telescopic Observations of Sunspots' in John W. Shirley (ed.), *Thomas Harriot* (Oxford, 1974), pp. 129-157 (pp. 136 & 138). ハリオットについては、前章注50も参照。後出(本章注8)のジャン・ジャコー(Jean Jacquot)の論文は、ハリオットとチャールズ・キャヴェンデッシュの数学での影響関係を示唆しているが、その根拠は十分に明らかではない。

² 当時イングランド北西部には、ジェレマイア・ホロックス(Jeremiah Horrocks, 1618-1641)やウィリアム・クラブトゥリー(William Crabtree, 1610-1644?)がおり、望遠鏡による天文観測を行っていた。このグループの人々は、相互に文通していた。クラブトゥリーは、グresham・カレッジの天文学教授のサミュエル・フォスターとも文通していたという。

sight)と接眼マイクロメーター(eyepiece micrometer)を発明した³。望遠照準とは、四分儀などと望遠鏡を組み合わせて星の位置を決定するものであった。また、接眼マイクロメーターとは、望遠鏡の接眼レンズの部分に計測装置を組み込んで、恒星相互の距離や惑星の直径を測定するのに使用された。これらは共に、精密な位置天文観測に不可欠の存在となるものである。

堅固な王党派だったガスコインは、イギリス革命で議会派が形勢を逆転したマーストン・ムーアの戦いに参戦し、不帰の人となった。だが、彼の発明は失われることなく、知人達の手を経て後世に伝えられた。例えば、彼のマイクロメーターは、近郊の友人チャールズ・タウンリー(Charles Town(e)ley, 1604-1674)⁴の甥リチャード・タウンリーの手で王立協会にもたらされた⁵。あるいはまた、ベネットによれば、ガスコインの二つの発明は、オートリッドなどを経て、1650年代までにレンらのオクスフォードの自然学者にもたらされたともいわれる⁶。事実、ガスコインはオートリッドに宛てて、彼のマイクロメーターの構造を図入りで書き送った(第28図)⁷。

マイクロメーターは、実像を結ぶ望遠鏡でしか使用できない。そのため、ガリレオ式望遠鏡に装着することは不可能である。だから、ここに現れる望遠鏡は当然のごとくケプラー式であり、すでにこの時期にイギリスでケプラー式の望遠鏡が用いられていたことが分かる。

³ Henry C. King, *The History of the Telescope* (London, 1955), p. 94.

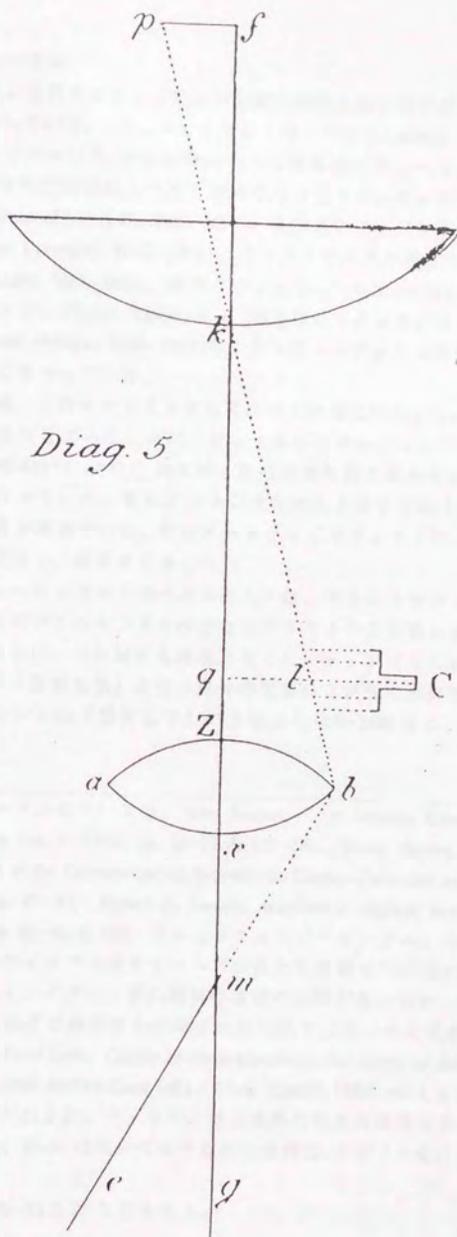
⁴ ガスコインとチャールズ・タウンリーが友人だったことについては、*Birch* 1, p. 395, note b を参照。

⁵ このいきさつの詳細については、第四章を参照されたい。リチャード・タウンリーは、先にも論じたように、「ボイルの法則」の成立に寄与した(第I部第四章「フックとボイルの法則」の節を参照)。

⁶ J. A. Bennett, 'Hooke's Instruments for Astronomy and Navigation' in *New Studies* (1989), pp. 20-32 (p. 22). 前にも述べたように、レンはオートリッドと強いつながりを持っていた。また、ボイルの最初のポンプを組み立てた実験器機製造業者のラルフ・グレートレックスは、オートリッドと近しかった。J. A. Bennett, *The Mathematical Science of Christopher Wren* (Cambridge, 1982), p. 40. オクスフォード・グループのゴダード(後出)は、ガスコインについて知っていた形跡がある。G. H. Turnbull,

'Samuel Hartlib's Influence on the Early History of the Royal Society', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 10 (1952-3), pp. 101-130 (p. 108).

⁷ W. Gascoigne to Oughtred, 2 December 1640 and c. February 1641, in Stephen J. Rigaud (ed.), *Correspondence of Scientific Men*, 2 vols. (Oxford, 1841, repr., Hildesheim, 1965), vol. 1, pp. 33-59. また、Albert van Heiden, 'The Astronomical Telescope', *Annali dell' Instituto e Museo di Storia della Scienza* 1 (1976), pp. 13-35 (pp. 29-30) も参照されたい。ガスコインは、ここに収められた書簡で、ケプラーとその著作に言及している(pp. 33 & 36)。だが、彼がケプラー式望遠鏡に至った具体的経緯は知られていない。



Diag. 5

第28図 ガスコインの接眼マイクロメーター（1641年）
 (*Correspondence of Scientific Men*, Stephen J. Rigaud (ed.),
 London, 1965, 1, Plate 1, Diag. 5)

ニューカッスル・サークル

ちょうど同じころ、名門キャヴェンディッシュ家の周囲に集う科学愛好家の人々も望遠鏡に関心を持っていた。「ニューカッスル・サークル(Newcastle Circle)」とも称される彼らのメンバーは⁸、中心人物の一人で数学者のチャールズ・キャヴェンディッシュ、彼の弟で後のニューカッスル公ウィリアム・キャヴェンディッシュ(William Cavendish, Duke of Newcastle, 1592-1676)、その妻のマーガレット・キャヴェンディッシュ(Margaret Cavendish, 1624?-1674)、アリストテレス主義者のケネルム・ディグビー(Kenelm Digby, 1603-1665)、数学者のジョン・ペル(John Pell, 1611-1685)やウォルター・ウォーナー(Walter Warner, d. c. 1641)などであった。哲学者のトーマス・ホブズ(Thomas Hobbes, 1588-1679)も、キャヴェンディッシュ家の家庭教師としてこのグループに加わっていた。

革命を避けた彼らは、亡命イギリス人として次々と大陸に向かい、ハンブルクやパリなどの各地で生活を送った。だが、チャールズ・キャヴェンディッシュは、マーストン・ムーアの戦いに破れて1644年7月に大陸に渡る以前から、大陸とイギリスの架け橋となっていた。彼はメルセンヌなどと文通を行なうとともに、大陸の手稿類や数学書を集めていた。彼はオートリッドやウォリスなどのイギリス国内の数学者とも交流し、情報を交換した⁹。

大陸において、ニューカッスル・サークルの人々は、デカルトやガッサンディと接触した¹⁰。ホブズはメルセンヌを仲介としてデカルトと文通したが、そこでは、物質の構造とともに、光の屈折も話題となった。ホブズはその手紙のやりとりで、デカルトの『屈折光学』より、自分の理論の方が先に出来たと主張した。というのは、デカルトの『屈折光学』の出版より早い1630年に、ホブズ

⁸ニューカッスル・サークルについては、Jean Jacquot, 'Sir Charles Cavendish and His Learned Friends', *Ann. Sci.*, 8 (1952), pp. 13-27 & 175-191; Helen Hervey, 'Hobbes and Descartes in the Light of the Correspondence between Sir Charles Cavendish and Dr. John Pell', *Osiris*, 10 (1952), pp. 67-91; Robert H. Kargon, *Atomism in England from Hariot to Newton* (Oxford, 1966), pp. 40-42 & 63ff. 「ニューカッスル・サークル」の用語はカーゴンによる。なお、ウィリアムをチャールズの兄とする誤った記述が多数見られる。これは、キャヴェンディッシュ家に類似の名前の人物が多いため、あるいはオーブリーの間違った記述が繰り返し引用されたためではないかと想像される。例えば、David Aubrey, *Brief Lives, Chiefly of Contemporaries, Set Down by John Aubrey, between the Years 1669 & 1696*, Andrew Clark (ed.), 2 vols. (Oxford, 1898), vol. 1, p. 153 など。付言の要はないかと思われるが、ウィリアムは王党派の有名な武将であり、マーストン・ムーア(Marston Moor)の戦いにおける彼の役割は、イギリス史においてしばしば論じられる。

⁹Rigaud(1841), vol. 1, pp. 22-23 & 87 などを見よ。

¹⁰Kargon(1966), p. 63.

は自分の理論をキャヴェンディッシュ兄弟に知らせたからだという¹¹。しかし、ホップズの光学研究が出版物となったのは、デカルトの本に7年後れる1644年のことであった。それは、『光学論考 (*Tractatus opticus*)』としてパリで出版されたのであった¹²。

このことから容易に想像されるように、チャールズ・キャヴェンディッシュの望遠鏡への興味は、亡命以前からのものであった。彼は、望遠鏡のレンズや像の位置について、早くも1630年代にウォーナーと文通した。その彼らには、パリのホップズから、デカルトやミュードルジュラのレンズへの取り組みの情報もたらされた。キャヴェンディッシュは、後にデカルトと光学について直接文通した。その中でデカルトは、球面レンズの欠陥を指摘し、双曲線レンズを推奨した¹³。

1641年から翌年にかけてのベル宛ての書簡で、キャヴェンディッシュは、自分達のレンズへの取り組みに触れている。ベルとキャヴェンディッシュは、デカルトの勧めに従って双曲線レンズを使うことを考え、これをロンドンの光学器械職人のリチャード・リーヴ (Richard Reeve(s), d. 1666) に作らせようとした。キャヴェンディッシュはガスコインと知り合いであり、ケプラー式望遠鏡の構造を知っていた。だが、ガリレオ式望遠鏡の方が優れていると信じた彼は、その作製を選択した¹⁴。大陸に亡命すると、キャヴェンディッシュはハンブルクでヴィーゼルの望遠鏡の噂を聞き、その入手を試みた。さらに、アントワープで望遠鏡作製者のレイタと直接面会するなど、望遠鏡への関心を持ち続けたのである¹⁵。

望遠鏡職人リーヴ

前章で述べたように、望遠鏡は、発明されてからすぐに、専門の職人によって

¹¹ Jacquot(1952), p. 17. なお、ホップズとデカルトは直接面会をしたことがある。Hervey(1952)を見よ。

¹² ホップズの光学研究については、Alan E. Shapiro, 'Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth-Century', *Arch. Hist. Exact Sci.*, 12 (1973), pp. 134-266 (特に pp.143-172) を見よ。ホップズの上記の『光学論考』は、Marin Mersenne, *Univerae geometriae* (Paris, 1644) の一部として出版された。

¹³ Jacquot(1952), pp. 19-20 & 26.

¹⁴ J. O. Halliwell, *A Collection of Letters Illustrative of the Progress of Science in England from the Reign of Elizabeth to That of Charles II* (London, 1841, repr., London, 1965), pp. 72-74 & 83. また、Hervey(1952) や Albert van Helden, 'The Development of Compound Eyepieces, 1640-1670', *J. Hist. Astron.*, 8 (1977b), pp. 26-37 (p. 27) も参照。

¹⁵ Halliwell(1841), p. 77; Helden(1977), pp. 27-28; Jacquot(1952), p. 175. 当時有名な望遠鏡改良家だったレイタとヴィーゼルについては、すでに前章の「望遠鏡の漸進的改良」の節で論じた。ヴィーゼルがキャヴェンディッシュに送った望遠鏡の値段表については、Thomas H. Court and Moritz von Rohr, 'New Knowledge of Old Telescopes', *Transactions of the Optical Society*, 32 (1930-31), pp. 113-122 (pp. 117-120) を見よ。

作製されるようになった。そしてこの分野でも、イタリアが先行していた。その理由の一つは、望遠鏡に使用される良質のガラスがベネツィアから供給されたからである。ローマでは、ディヴィニとカンパーニが、相次いで望遠鏡製作者としての名声を誇った。

イギリスでヴェネツィア産に匹敵するガラスができるようになったのは、ようやく1660年代のことである¹⁶。これにやや先だって、ディヴィニとほぼ同じころ、望遠鏡などの光学器機を作製する専門の職人(optical instrument-maker)がイギリスでも現れた。その初期の人物として知られているのが、前節で言及したリーヴであった¹⁷。リーヴが文献資料に現れるのは、1641年のキャヴェンディッシュのジョン・ベル宛書簡(前ページ参照)が最初である。

しかし、イギリスにおいても、望遠鏡の発展は、キャヴェンディッシュらの構想した双曲線レンズを磨く方向には進まなかった。フックは、いみじくも彼の遺稿の中で次のように述べた。大陸のデカルトやヘヴェリウス、イギリスのポール・ニール(Paule Neile, c. 1613-1686)等の人々の、

対物ガラス[レンズ]と接眼ガラスを楕円形にする試みは失敗に終わるばかりであった。けれども、球形[のレンズ]では、当初より[焦点距離の]長い、より正しい形の対物ガラスを作ることで、かなりの改善がみられた¹⁸。

別の遺稿でフックは、次のようにリーヴに言及した。イギリスで長大で良好な望遠鏡は、

最初にポール・ニール卿、クリストファー・レン卿、そしてゴダード博士によって成し遂げられた。彼[ら]は、手作業にリーヴを指導し、雇った。そして、その方法によって、60フィートと70フィートの長さの良い対物ガラスが、そういった

¹⁶たとえば、*Phil. Trans.*, 1 (1666), p. 65 のフックの証言を見よ。また、A. D. C. Simpson, 'The Early Development of the Reflecting Telescope in Britain', unpublished Ph. D. thesis, University of Edinburgh, 1981, p. 15.

¹⁷A. D. C. Simpson, 'Robert Hooke and Practical Optics: Technical Support at a Scientific Frontier' in *New Studies* (1989), pp. 33-61; *idem*, 'Richard Reeve--The "English Campani"--and the Origins of the London Telescope-Making Tradition', *Vistas Astron.* 28 (1985), pp. 357-365; E. G. R. Taylor, *The Mathematical Practitioners of Tudor & Stuart England* (Cambridge, 1970), pp. 223-224.

¹⁸*Philosophical Experiments*, p. 260. これは、1692年に読み上げられたもの。ここでフックは、非球面レンズの試みを楕円レンズで代表させているが、先にも述べたように、デカルトはむしろ双曲線レンズを推奨していた。なお、'glass' という単語は、ガラス自体だけではなく、レンズ、鏡、望遠鏡などを指す言葉としてしばしば使用された。North(1974), p. 140.

ものがフランスで作られたといわれる前から、完成されたのである¹⁹。

これに関して、前章で触れたウォリスの自伝の中には、次のような記述が見られる。

これらの〔1645年頃の〕会合を、私たちは時にはウッド・ストリート(Wood Street)のゴダード博士の住居(あるいはどこか近くの都合の良いところ)で開いた。この時、彼は、望遠鏡や顕微鏡のガラスを磨くのに、家に職人を雇っていた²⁰。

上の二つの引用にゴダードの名前が現れることから考えるならば、リーヴは、1645年ごろ、ロンドンのジョナサン・ゴダード(Jonathan Goddard, 1616-1675)の下で望遠鏡の改良に取り組んでいた可能性が高い。

この後、革命下の人事でロンドンの自然学者の一部がオクスフォードに移ると、リーヴは彼らに望遠鏡を供給することになる。1649年、セス・ウォードとジョン・ウォリスは、オクスフォードのサヴィル教授(Savillian professors)に任命された(それぞれ天文学と幾何学)。同じ年に、クリストファー・レンは、ウォッドダム・カレッジに学生として入学した。1651年には、議会軍の医師でクロムウェルの信任の厚かったゴダードもマートン・カレッジの学寮長となり、オクスフォードに赴任した²¹。サヴィル天文教授となったセス・ウォードは、1651年ごろに、彼がフェロー(fellow commoner)として所属するウォッドダム・カレッジの塔に、「ほんの小さな天文台」を作った。レンは、後に述べる土星の観測を、この天文台などで行なったと推定される²²。そこには、長さ6フィートから35フィート(約2メートルから10メートル)までの望遠鏡がしつらえられていた。これらはポール・ニールの指図

¹⁹ *Philosophical Experiments*, p. 390. 関係代名詞の先行詞が曖昧なため、リーヴを雇ったのがゴダード一人か、三人全てかは確定できない。

²⁰ Christoph J. Scriba, 'The Autobiography of John Wallis, F. R. S.', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 25 (1970), pp. 17-46 (p. 39). 一方、セス・ウォードは、ゴダードはイギリスで最初に自らの手で望遠鏡を組み立てた人であると記した。John Ward, *The Lives of the Professors of Gresham College* (London, 1740), p. 271.

²¹ *DNB*, 'Goddard', vol. 8, pp. 24-26 (p. 25).

²² Albert van Helden, 'Christopher Wren's *De Corpore Saturni*', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 23 (1968), pp. 213-229 (p. 215); Wallis à Huygens, 17 avril 1656 (N. S.), *Oeuvres*, I, pp. 401-403 (p. 401). ウォードの小天文台については、H. W. Robinson, 'An Unpublished Letter of Dr. Seth Ward Relating to the Early Meetings of the Oxford Philosophical Society', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 7 (1950), pp. 68-70 (p. 70). 後にオルデンバークは、ウォードを「天文学を幾何学化」した人物として賞賛した。 *Ibid.*, p. 68.

で作られたものだった²³。上のフックの遺稿の証言からも容易に想像されることだが、その望遠鏡の中には、リーヴが作製したものがあつた²⁴。リーヴの名声は1652年には確立しており、イヴリンもこの年、「遠眼鏡 (perspectives) で有名」な人物としてリーヴのことを日記に記した²⁵。

リーヴの名声は、王政復古の後も保たれた。1661年にロンドンを訪れたホイヘンスは、トーマス・ストリート(Thomas Streete, 1621-1689)と一緒に、4月23日(旧暦)、ロンドンのリーヴの店で水星の太陽面通過の観測を行なった。この日ウェストミンスター寺院で国王チャールズ二世の戴冠式があつたが、この観測のために、ホイヘンスはそれを見逃すことも厭わなかつた²⁶。

リーヴは、1662年から65年にかけて、フックや王立協会の勧めで、60フィート(約18メートル)という長大望遠鏡に取り組んだ。最初のレンズができたのは1662年だが、実用に耐えるものが完成したのは1664年前後のことと思われる²⁷。

この望遠鏡は、リーヴの手元にある頃からフックなどによって使用された。例えばフックは、1665年の『ミクログラフィア』で、これを用いた実験的観察に

²³ Helden(1968), p. 215. ニールは枢密院の式部官であり、ロバート・マレーとともに、宮廷人として、後に王立協会と国王の仲立ちを勤めた。C. A. Ronan and Harold Hartley, 'Sir Paul Neile, F. R. S.', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 15 (1960), pp. 159-165 (p. 160).

²⁴ これは、スコットランド国立博物館のシンプソンによって、シェフィールド(Sheffield)大学のハートリブ手稿(Hartlib MS 29/5/46B)から明らかにされた。そこには、リーヴ作のオクスフォードの24フィート望遠鏡の記述がある。なお、同じ手稿には、リーヴの顕微鏡への言及もあるという。Simpson(1989), p. 37, n. 13を見よ。

²⁵ Simpson(1989), p. 37; E. S. de Beer (ed.), *The Diary of John Evelyn*, 6 vol. (Oxford, 1955), vol. 3, pp. 64-65.

²⁶ これは、ホイヘンスのイギリス旅行記の5月3日(新暦)の記述による。*Oeuvres*, 22, pp. 566-576 (p. 575). ストリートが同席したという記述は、Taylor(1970), p. 224; *Oldenburg Corresp.*, 2, p. 189. また、Huygens à [Ism. Boulliau], 13 juin 1661 (N. S.), *Oeuvres*, 3, pp. 278-281 (pp. 279-281)も参照せよ。

²⁷ 王立協会のこの60フィート望遠鏡への取り組みについては、Oldenburg to Hevelius, 13 November 1664, *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 300-309 (pp. 302 & 306)に言及がある。それによると、この望遠鏡は、「わが国のリーヴ氏によって最近完成され、その対物ガラスの直径は約5インチで、口径(aperture)は2と1/5インチある。それは、まだ作製者の手元にある」。なお、リーヴが最初の60フィートのレンズに1662年に取り組んでいたことについては、Oldenburg to Auzout, 23 July 1665, *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 439-443 (pp. 440 & 442)。60フィート望遠鏡については、Simpson(1989), p. 39, n. 20が詳しい。

ついて触れた²⁸。また、同じ年にフックは、リーヴは「あの長さであればほど良いものを作った最初の人物と考えたい」と、60フィートの望遠鏡を『フィロソフィカル・トランザクションズ』で賞賛した²⁹。1666年、ボイルはこの望遠鏡を購入し³⁰、フックはこれを使って木星や土星の観測を行なった。その内容は、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に収録された³¹。

このように、60フィートの望遠鏡で、リーヴの名声は頂点に達したといえよう³²。だが、リーヴが当時供給したのは、望遠鏡だけではない。彼は、顕微鏡製作者としても知られていた。例えばピープスは、彼の日記に、リーヴから顕微鏡を購入したことを記録した³³。またリーヴは、ヘンリー・パワーに宛てて1660年に送った光学器械の価格表に、顕微鏡の値段を記した³⁴。シンプソンによれば、フックが『ミクログラフィア』執筆のために使用した顕微鏡は商業的に作られたものであった。フック自身は作作者の名前を挙げていないものの、これはリーヴ作と考えられるという。また、パワー、ボイル、レンらが使った顕微鏡もリーヴが供給したと見られる³⁵。

リーヴはパワーに送った上述の価格表に、比較的短い望遠鏡の値段をいくつか書いている。このような「普通」の望遠鏡は、「アマチュア」向けのもので、長大望遠鏡に比べると大きな購買層を持っていたと考えられる。

²⁸ *Micrographia*, sig. e1v. ここでは、60フィート望遠鏡のレンズの口径は3インチ以上とされている。

²⁹ *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 4, p. 66 を見よ。フックはボイル宛の1664年の書簡で、この望遠鏡で木星を観測したことに言及している。Hooke to Boyle, 15 September 1664, *The Works of Honourable Robert Boyle*, 6 vols. (London, 1772), vol. 6, pp. 490-491 (p. 491)。同じ書簡は、*Gunter*, 6, pp. 197-200 にも収録されている（以下の書簡も同様）。

³⁰ Hooke to Boyle, 21 March, 1666, *The Works of Honourable Robert Boyle*, vol. 6, pp. 505-510 (p. 506)。ボイルによれば、これはこの時までにリーヴの作った唯一の60フィート望遠鏡だったという。 *Ibid.*, vol. 3, p. 399。このことから、ボイルの購入した60フィート望遠鏡が、上述の1664年ごろのものであると推定した。

³¹ これについては、次章の「フックの初期の天文観測」の節を参照のこと。ボイルの望遠鏡が使用されたことは、*Birch*, 2, p. 98。

³² A. D. C. Simpson, 'James Gregory and the Reflecting Telescope', *J. Hist. Astron.*, 23 (1992), pp. 77-92。

³³ Henry B. Wheatley (ed.), *The Diary of Samuel Pepys*, 10 vols. (Cambridge, 1899-1920), vol. 4, p. 215, 12 August 1664 [白井昭訳、「サミュエル・ピープスの日記」、第5巻、国文社、1989年、299ページ]。ピープスの日記には、リーヴと彼の息子が混在して現れ、必ずしも両者は区別できない。英語版の索引では、二人が混同されている。

³⁴ Court & Rohr(1930-1), p. 121。この価格表によれば、リーヴは3-6インチ程度の顕微鏡を販売していた。

³⁵ Simpson(1989), p. 41; Simpson(1985), p. 359。

しかし、このようなリーヴの名声は、突然終わりを迎えた。1664年10月、彼は激情して誤って妻をナイフで殺害した。リーヴは妻殺しのかどで捕らえられ、彼の持ち物は没収された。釈放されたものの、リーヴは、1666年に恐らくは流行のペストのために没した³⁶。息子のリチャード(同名)が彼の跡を継いだが、結局彼は父の名声を保つことなく、その名声をもう一人の職人クリストファー・コックに譲ることになった³⁷。

クリストファー・レンと望遠鏡

クリストファー・レンは、一般には、建築家として有名である³⁸。例えば、ロンドンのセントポール大寺院や、オクスフォードのシェルドン劇場(Sheldonian Theatre、現存)は、彼の代表作であろう³⁹。建築以外に、レンが数学や物体の運動といった科学研究の分野で優れた貢献をしたことは、科学史家には比較的良好知られている。彼はサイクロイドの求長に成功し、ホイヘンスと独立に、完全弾性衝突の法則を発見した。

だが、望遠鏡による天体観測や顕微鏡観察など、光学器機を駆使した研究をレンが行なったことは余り知られていない⁴⁰。しかしスプラットは、『王立協会史』の中でこれに言及し、レンの天体観測、望遠鏡の改良、光の屈折の理論への取り組み、土星の観測と理論、月面誌と月の秤動の取扱いに触れている⁴¹。

レンの自然学への関心は、彼の父であるクリストファー・レン(同名)や、義理の兄弟で音楽論で知られるウィリアム・ホルダー(William Holder)の影響を受けて始まったと思われる⁴²。

革命下の内乱を避けるためにウェストミンスター・スクールを1646年に離れ

³⁶ Hooke to Boyle, 21 October 1664, *The Works of Honourable Robert Boyle*, vol. 6, pp. 943-944 (p. 943); Simpson(1989), p. 47; Simpson (1985), p. 360.

³⁷ 次章の「フックと望遠鏡職人」の節を参照。

³⁸ レンの生涯については、Geoffrey Webb, *Wren* (London, 1937)などを参照されたい。

³⁹ *DNB*, 'Wren', vol. 21, pp. 995-1009 (p. 999).

⁴⁰ レンの科学研究を総合的に明らかにしたのは、ベネットの大きな貢献である。ベネットの諸研究を総括した重要な著作として、J. A. Bennett, *The Mathematical Science of Christopher Wren* (Cambridge, 1982).

⁴¹ Thomas Sprat, *The History of the Royal Society* (London, 1667), pp. 314-315. レンが光の屈折や視覚の現象の問題に取り組んでいたことは、レン自身の書簡からも分かる。J. A. Bennett, 'A Study of Parentalia, with Two Unpublished Letters of Sir Christopher Wren', *Ann. Sci.* 30 (1973), pp. 129-147 (p. 146). ただし、レンの光学の詳細は、これまでの研究では知られていない。

⁴² この段落の記述は、Bennett(1982), pp. 14-17による。なお、ホルダーがレンに「幾何学と算術の最初の手ほどきをした」ことは、Aubrey(1898), vol. 1, p. 403を見よ。

たレンは、翌年ごろから、チャールズ・スカーパーラ (Charles Scarborough, 1616-1694) のもとに滞在した。スカーパーラはオートリッドの友人であり、数学、航海術、天文学に通じていた。彼は、ウォリスの述べる 1645 年ごろのロンドンの自然学者の集まりのメンバーでもあった⁴³。レンの息子が残した記録によると、レンの天文学への興味は早くからのもので、1648 年ごろには、ティコの月の理論に改訂を加えていたという⁴⁴。

レンがオクスフォードのウォッドダム・カレッジに入学したのは、1649 年 (1650 年という説もある) のことであった。ジョン・ウィルキンズは 1648 年からこのカレッジの学寮長を勤めていたが、彼とレンの父は知り合いであり、その関係でレンはウォッドダム・カレッジの学生となったと推定される。

1649 年、ジョン・ウォリスがエクセター・カレッジ (Exeter College) に着任した。サヴィル天文教授にこの年任命されたセス・ウォードは、レンと同じカレッジ所属となった。さらに数年後には、ゴダードがマートン・カレッジ (Merton College) の学寮長となった。また、ローレンス・ルックは、1650 年から 52 年まで、ウォッドダム・カレッジのフェローであった。彼らは、レンも含めて、自然哲学の集まりを持つようになった。前節で述べたように、ゴダードは 1645 年ごろから望遠鏡の改良に取り組んでおり、セス・ウォードは、1651 年ごろにウォッドダム・カレッジに小天文台を作った。このような環境の中で、ウィルキンズのお気に入りのレンが天文観測に関心を持ったのは、当然ともいえる⁴⁵。

レンがいつから天体観測を始めたのかは、正確には分からない。だが、彼がウォードの小天文台で比較的早くから観測を行なったと考えるのは自然であろう。レンの観測が本格化するのには、オクスフォード大学のオール・ソウルズ・カレッジ (All Souls College) のフェローを勤めていた 1654 年ごろのことであった。彼は、1654 年にウォリスの日蝕の観測を手伝い、翌年 9 月には、ヘヴェリウスのレベル

⁴³ John Wallis, *A Defence of the Royal Society* (London, 1678), p. 7. 既に述べたように、レンはオートリッドの著書『数学の鍵』の 1652 年版の付録のラテン語訳をこのころ手がけた。

⁴⁴ Christopher Wren, Jr., *Parentalia: Or, Memoirs of the Family of the Wrens* (London, 1750), p. 184.

⁴⁵ 余り論じられることがないが、ウィルキンズ自身、革命以前から宇宙論的な著作を執筆していた。例えば、John Wilkins, *The Discovery of a World in the Moon* (London, 1638) などを参照。ベネットによれば、様々な機械を論じたウィルキンズの著書、*Mathematical Magick* (London, 1648) がレンに大きな影響を与えたという。Bennett(1982), p. 12. これらのウィルキンズの様々の著書を取めたものとして、*The Mathematical and Philosophical Works of the Right Rev. John Wilkins* (2nd ed., London, 1802, repr., 1970). ウィルキンズが早くも 1650 年ごろにレンを高く評価していたことについては、G. H. Turnbull, 'Samuel Hartlib's Influence on the Early History of the Royal Society', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 10 (1952-3), pp. 101-130 (pp. 109-110).

を渡ぐ月面誌と月の揺動の扱いを目指した。同じ9月に彼は、ウィルキンズとともに、月を観察するための80フィート(28メートル)長大望遠鏡を試みたという⁴⁶。

レンの月面誌への取り組みは、王政復古後も続いた。彼は1661年、国王チャールズ二世の求めに応じて月の模型を作り、8月にこれを国王に献上した。この模型は、厚紙で作製した直径10インチほどのものであった。国王はこの模型に喜び、これを自らの収蔵庫に収めた⁴⁷。

オクスフォード時代にレンが観測を行なったのは、ウォードの小天文台だけではなかった。彼は恐らくは既にこの時期に、ポール・ニールの家の望遠鏡でも観測を行なったと思われる⁴⁸。当時、ニールの屋敷は、ロンドンとオクスフォードの中程、パークシャー(Berkshire)のホワイト・ウォルサム(White Waltham)にあった。レンによれば、ニールは、

最高の職人[リーヴ?]を雇い、上に述べた[6, 12, 22フィートから35フィートの]天体観測装置、あるいはそれより大きい50フィートのものを自宅で作らせようとし、(彼の数学における素晴らしい判断力によって)自分で作業を監督した⁴⁹。

ニールは、ブランカーやボール(William Ball(e), c. 1627-1690)らとともに、ロンドンの科学者グループに革命期に現れた新人であり、セス・ウォードとも親しかった⁵⁰。彼の望遠鏡への取り組みは良く知られており、イヴリンは1656年5月8日の日記に、「ホワイトホール[当時の宮殿]にウィルキンズ博士を訪ねた。そこで、光学ガラス[望遠鏡]で有名なP・ニール卿に初めて会った」、と記している⁵¹。先のフックの遺稿の引用(133^h-^g)からも明らかのように、彼はゴ

⁴⁶ Bennett(1982), pp. 18-20 & 28. レンの月の観測への取り組み、またレンとウィルキンズの長大望遠鏡への取り組みについては、サミュエル・ハートリブの手稿に言及がある。Turnbull(1952-3), pp. 114 & 116.

⁴⁷ Bennett(1982), pp. 40-41; Birch 1, p. 21; Wren, Jr.(London, 1750), pp. 210-212. この後、より大きな月の模型をという期待がレンにかけられたが、これが完成したかどうかは不明であるという。

⁴⁸ Bennett(1982), p. 20; Birch 1, p. 47. このことは、レンとニールが1656年以前に土星の模型の問題で協力していたことから推定される。レンはしばしばオクスフォードとロンドンを往復しており、その途中でニールの家に寄った可能性もある。後述のように、1657年8月にグレシャムに移ったレンが、この年の12月にニールの家で土星の観測を行なったことは確実である。

⁴⁹ *Oeuvres* 3, p. 420; Helden(1968), p. 221.

⁵⁰ Harold Hartley, 'Gresham College and the Royal Society', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 16 (1961), pp. 125-135 (p. 130); Bennett(1982), p. 20.

⁵¹ *The Diary of John Evelyn*, vol. 3, p. 172. ハートリブも、ニールの望遠鏡の実験に触れている。Turnbull(1952-3), p. 120.

ダード同様に双曲線レンズを磨くことを試みた。だが現実の改良は、彼の場合にも望遠鏡を長大にする方向に進展した。実際フックは、「ポール・ニール卿は、かなり良好な 36 フィートをいくつか作り、さらに 50 フィートの望遠鏡を一つ作った」と書き記した⁵²。

レンは、ウィリアム・ベティ宛と推定される 1656 年ごろの書簡で、この 36 フィート望遠鏡の一つで行なったと見られる土星の観測について触れた⁵³。ニールは、1658 年にグレシャム・カレッジに 35 フィートの望遠鏡を寄贈し、これは後に、フックによって使用されることになる⁵⁴。

レンの土星の理論

以上の議論から明らかなように、レンは、セス・ウォードやポール・ニールの観測の影響の下で、オクスフォード時代に天文観測を始めた。レンは、1657 年 8 月に、グレシャム・カレッジの天文学教授としてロンドンに移った。彼の観測は、そこでも数年以上続いたと考えられる。

当時のグレシャム・カレッジの環境は、レンの研究の展開にとって、好都合なものだった。例えばそこには、レンに先だって、ゴダードが医学教授としてオクスフォードから戻ってきていた（1655 年）。加えて、オクスフォードの自然科学者のグループの一人で、1652 年にグレシャム・カレッジの天文教授になったローレンス・ルックは、レンが着任するとともにその幾何学教授に転じた。こうして、ゴダード、レン、ルックの存在によって、グレシャム・カレッジは、自然科学の研究センターとしての役割を果たした⁵⁵。

⁵² *Philosophical Experiments*, p. 260. 50 フィートの望遠鏡は、さして性能の良いものではなかったという。

⁵³ Bennett(1973), p. 147.

⁵⁴ Birch 1, p. 48. Simpson(1989), pp. 37-38 は、ニールの一連の 36 フィート望遠鏡をリウヴの作としている。その可能性は高いが、確定的な証拠はない。1660 年 10 月にグレシャム・カレッジに据えられた 35 フィート望遠鏡を見た国王チャールズ二世は、ホワイトホール宮殿に望遠鏡を据え付けるようにニールに求めた。Simpson(1989), p. 38, n. 17. イヴリンの 1661 年 5 月 3 日の日記には、王の 35 フィートの望遠鏡の記述がある。この日には、ブランカー、マレー、ニール、ホイヘンス、ボールらが国王に会い、土星の腕について論じ、王の望遠鏡で木星とその衛星の観測を行なった。The *Diary of John Evelyn*, vol. 3, pp. 285-286. ホイヘンスは、旅行記のこの日（新暦 5 月 13 日）の部分に、ホワイトホール宮の庭でニールの望遠鏡によって土星と月の観測が行なわれたことを記した。Oeuvres, 22, p. 576. 4 月 6 日のホワイトホール宮での観測の記述では、ホイヘンス自らが 35 フィートの望遠鏡を使用したと明言している。しかし彼は、それが自分の 22 フィートの望遠鏡より劣ると見なした。Ibid., pp. 569-570.

⁵⁵ Bennett(1982), p. 23.

レンは、オクスフォード時代の1654年からグレシャム時代の1659年ごろにかけて、土星の観測と理論的考察に取り組んだ⁵⁶。土星の研究は、レンにとって大きな部分を占めるテーマだった。彼のこの研究を良く伝える史料は二つある。その一つは、レンが1658年に書いた『土星の本体について (*De corpore Saturni*)』というラテン語の小冊子であり、彼がグレシャム・カレッジで行なった土星の形状に関する授業をまとめたものである⁵⁷。これは出版されることなく、私的に回覧された。もう一つの史料は、1661年10月1日のレンのニール宛書簡で、これは1週間ほど後の10月10日に、王立協会でブランカーによって読み上げられた。その中でレンは、ホイヘンスの土星の理論が発表される前に、自分が同様の問題に取り組んでいたことを明らかにしている⁵⁸。

『土星の本体について』の冒頭でレンは、彼が土星研究に取り組む理由をまとめている。最初に彼は、ガリレオが天空に初めて望遠鏡を向け、新たな発見をしたことを讃えた。ガリレオは、銀河が多くの星から成ること、月が地球に類似する存在であること、金星が満ち欠けすること、太陽に黒点が存在すること、土星が三つの部分から成ることなどを明らかにした。だが、ガリレオは余りに多くのことを一時に明らかにしたので、

彼の後に続く者達は、誇ることのできるそれ以上の新世界はほとんど残されていないと考えてうらやみ、リンチュイの後継者達は、ガリレオの発見から出発するためにだけ生まれたのであると思った。実際、数学者が屈折光学の理論を改善し、職人が日々大きなレンズを作る術を進歩させるのに従って、月の外観をより正確に記述し、あるいは土星が月以上に様相を変えることを様々な形状を用いて説明することは、(それはなされていないのだから)、無用でも不名

⁵⁶ Bennett(1982), p. 28; Helden(1968), pp. 215 & 221. ベネットは、知られている限り最後のレンの観測として、1659年2月28日(新暦)のウォリスのホイヘンス宛書簡にあらわれるもの (*Oeuvres* 2, p. 358) を挙げている。cf. Wren, Jr.(1750), p. 240.

⁵⁷ *Oeuvres* 3, pp. 419-424seq. この冊子の英訳が、Helden(1968), pp. 219-226 に収められている。以下では、これも適宜参照した。なお、『土星の本体について』の執筆年が1658年であることは、その中でレンが、「ほぼ3年前に、かのボール氏がこの[土星の]帯を初めて見つけた」(p. 442)と述べていることから確実である。ボールが1655年に土星の帯(輪の影)を発見したことは、*Oeuvres* 2, p. 305. また、Angus Armitage, 'William Ball', *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 15 (1960), pp. 167-172 (p. 167) も参照。レンのグレシャム・カレッジでの天文関係の授業としては、この他に天文学の歴史を扱った1657年の着任講義と、1659年の望遠鏡に関する講義が知られている。前者は、Wren, Jr.(1750), pp. 199-206 に収録されている。その中でレンは、土星本体の正確な記述だけでも天文学者の一生を要すると述べ、また、いずれ土星についての講義を行なうことを予告している (p. 205)。

⁵⁸ Birch 1, pp. 47-49.

誉でもないのである。そのために、いずこにおいても、国民のうちの優れた人は、より長い望遠鏡を作製することに現在でさえ熱中している⁵⁹。

ここには、我々が本論文で「ガリレオ・パラダイム」と名付けた内容が典型的な形で表現されている。当時重要であったのは、太陽系の天体（惑星・月・太陽）に関するガリレオの発見を、望遠鏡の改良によって一層精緻なものにすることであった。これはイギリスにおいても同様であり、先述のようにレンは月面誌に取り組んで月のモデルを作った。またレンは、火星の斑の研究に取り組んだこともあった⁶⁰。彼の土星の研究は、このような太陽系天体の研究の一環だった。レンは、これらの天体観測を可能にした望遠鏡の進歩の背景として、数学者の屈折光学の探求を挙げた。しかし、彼自身が直後に述べているように、実際の観測の進歩は、「より長い望遠鏡を作製すること」、すなわち、望遠鏡の漸進的改良によって達成されたのである。

レンは上の引用に続けて、天体の中でただ土星だけが形を変えていくこと、その外観の変化の理由としては、土星が三部分から作られていること、あるいは長円形であることなどが考えられるが、いずれにせよそれは土星の回転に関係していると述べている。ガリレオ、フォンタナ、ガッサンディ、リッチョーリ、ヘヴェリウスらは土星のスケッチを出版しているが、観測者が良い望遠鏡を使用しない限り、それらを吟味することは時間の無駄だという。

だから、イギリス製の各種接眼レンズのついた6、12、22そして35フィートの長さの非常に良好な望遠鏡が私たちに与えられ、しかもまた、1649年以來の一連の土星の外観のおびただしい観測（そのうちのいくつかは、過去4年間に我々が最大の注意を払って描いたものだ）が手に入ったので、すでに長い間学識ある人々から隠しておいた土星についての仮説をついに公表することを私たちはためらわなかった⁶¹。

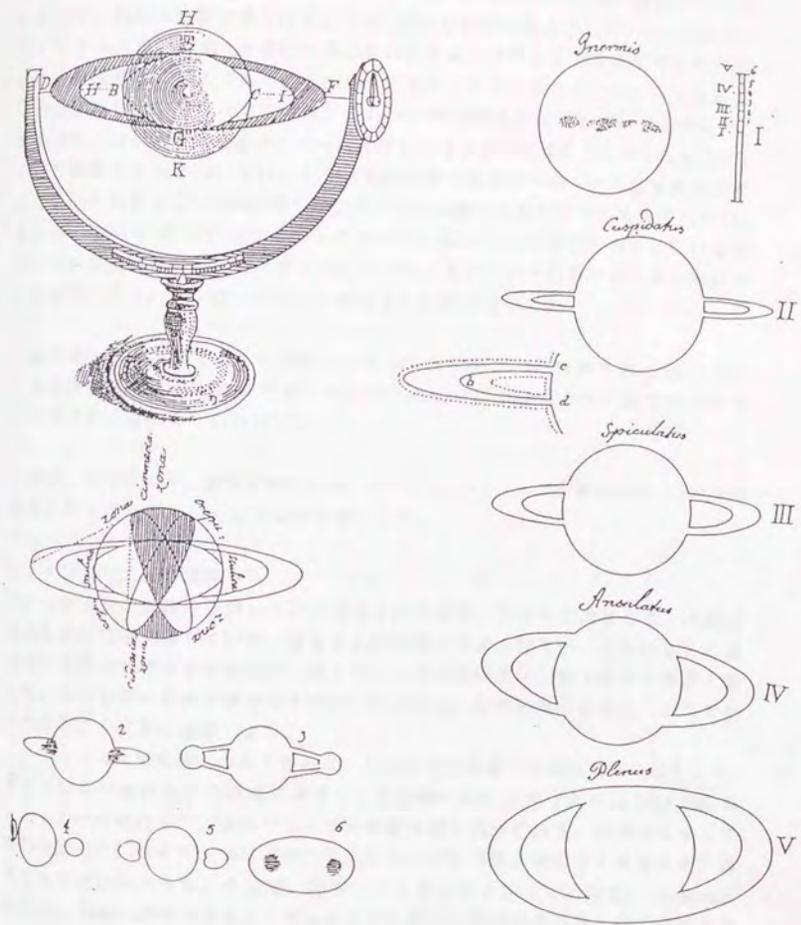
これらの望遠鏡はニールの与えたもので、ニールは自分の家にも望遠鏡を持っており、より拔きの友達とそこでも観測を行なった。

レンはこれらの観測を基礎にして、自らの土星のモデルを提示した（第29図）。それは、本体とそれを囲む輪から作られたモデルである。輪は楕円状で、短軸の

⁵⁹ *Oeuvres*, 3, p. 419; Helden(1968), pp. 219-220. ヘルデンの英訳には多少問題があるので、ラテン語原文により改めてある。

⁶⁰ このことは、1656年ごろのレンの書簡に、「私たちは、まだ良好な50フィートのガラスには到達していないが、12フィートから36フィートまでの非常に長いものは手にしており、これで土星の腕や斑の正確な絵をたくさん描き、火星の斑を描いた」という記述があることから分かる。Bennett(1973), p. 147.

⁶¹ *Oeuvres*, 3, p. 419; Helden(1968), p. 221.



第29図 クリストファー・レンの土星のモデル (1658年)
 (Oeuvres, 3より)

部分で土星本体と接している。レンは、このような輪を持つ土星が回転することによって、実際の観測で見られるような土星の姿が得られるとした。レンはまた、ウィリアム・ボールが3年前に土星の輪の影を見つけたことを指摘している。レンは、輪は非常に巨大であり、それが固体で作られているのだとしたら支えることができないという。そこで彼は、これが一種の蒸気からできていると考えた。最後にレンは、銅製の土星のモデルに言及し、『土星の本体について』を結んだ。

この銅製モデルについては、もう一つの史料であるレンのニール宛書簡が参考になる。それによると、1656年1月ごろ、レンは鐵で土星のモデルを作製した⁶²。その後、1657年12月にホワイト・ウォルサムWhite Walsamのニールの下で観測をしている時に、レンは楕円状の輪のアイディアに至った。そこで、これをまず二枚の厚紙で作製したという。レンはニールに、次のように書き送った。

金属製のもっと頑丈なその仮説〔モデル〕は、あなたの寄贈された35フィートの望遠鏡を設置するためにグレシャム・カレッジに1658年5月に建てられたオベリスクの頂に掲げられた⁶³。

だが、オベリスクに模型を掲げた時、すでにホイヘンスが土星の輪の「正しい」理論に至っていたことをレンは知らなかった。

ホイヘンスの土星の理論

レンが土星の理論を展開しているちょうどその頃、ホイヘンスはこれとは独立に土星の研究を展開していた。彼もまた望遠鏡で観測を行ない、現在のものには近い土星のモデルを考案した。ホイヘンスの土星研究は、振り時計の発明と並んで、彼の初期の自然科学関係の仕事の一つである。後の議論のために、ここでその内容をごく簡単に概観しよう。

ホイヘンスの望遠鏡への取り組みは、レンの天文観測とほぼ同じ頃に始まった。ホイヘンスが幾何光学の研究に着手し、望遠鏡に関心を向けたのは1652年のことだと思われる⁶⁴。彼はヴィーゼルの望遠鏡に興味を持ち、実物を入手して検討を加えた。ホイヘンスは近在の職人にレンズを作製させようと考えたが、適当な人物がいなかった。そこで、兄のコンスタンティン（父と同名、Constantijn Huygens, 1628-1699）とともに、自らレンズを磨いて望遠鏡を作製した。最初の望

⁶² Birch 1, p. 47. 原文には、1655年1月とあるが、ユリウス暦によるものと解釈して、暦年を改めた。

⁶³ Birch 1, p. 48.

⁶⁴ 以下の記述は主に、Albert van Helden, 'Huygens and the Astronomers' in H. J. M. Bos et al. (eds.), *Studies on Christiaan Huygens* (Lisse, 1980), pp. 147-165 による。また、Helden (1977b), p. 29; Takehiko Hashimoto, 'Huygens, Dioptrics, and the Improvement of the Telescope', *Historia Scientiarum* 37 (1989), pp. 51-90 (p. 57) も参照した。

望鏡は、1655年2月に完成した。

この望遠鏡を使って、ホイヘンスは翌月の3月25日に、土星の衛星（後にハーシェルがタイタンと命名）を発見した。これは、望遠鏡によるガリレオ以来初めての新天体の発見であった。

ホイヘンスは、翌1656年の3月に、土星の衛星の発見を、『土星の月についての新観測 (*De Saturni luna observatio nova*)』と題する冊子（以下『新観測』と略す）で公にした⁶⁵。その記述によれば、彼が使用した望遠鏡は長さが12フィート（約3.6メートル）、倍率約50倍で、視野は30分程度のものであった。ホイヘンスは、以前にレイタが土星の衛星の発見を発表した時、ヘヴェリウスに批判を受けたことに言及している⁶⁶。そして、自分の観察は1年にも及ぶことを強調し、土星の衛星の公転周期がほぼ16日であることも指摘した。ホイヘンスは、「土星の体系」に関するアナグラムを最後に書いてこの冊子を結んだ。

ホイヘンスが記したこのアナグラムは、土星の輪の形状を記述したものであった。このアナグラムに隠された土星の輪のモデルは、1659年7月の『土星の体系』で公表された⁶⁷。その中でホイヘンスは、彼の用いた望遠鏡について説明している。彼は、当初、『新観測』で使用した12フィートの望遠鏡を用いていた。この望遠鏡は、二枚のレンズで作られた装置であった⁶⁸。彼の観測記録は、この望遠鏡を使った土星とその衛星の観測から始まっている。彼にとって、土星の衛星は、コペルニクス説の「極めて重大な証拠」であった⁶⁹。ホイヘンスは、1656年の2月に、ほぼ倍の23フィートの長さで約100倍の倍率の望遠鏡を使い始めた⁷⁰。その際、輪は消失しており、やがて再び現れた。彼が輪の理論に至ったのは、ちょうどこの前後と推定される。

その後、彼が理論を公刊するまでには、3年半近い歳月が経過している。このように長い時間がかかったのは、彼が先人達の土星の観測を入手するのに手こず

⁶⁵ *Oeuvres*, 15, pp. 172-177. 『土星の月についての新観測』には、安藤正人氏による邦訳がある。科学の名著、第2期第10巻、『ホイヘンスー光についての論考他』（朝日出版社、1989年）、52-55ページ。また、訳者の解説（同書 p. xxxii 以下）も参照。これによると、ホイヘンスはこの冊子をヘヴェリウス、ウオリス、スホーテン (F. van Schooten)、ロベルヴァルらの友人に贈ったという。

⁶⁶ *Oeuvres*, 15, pp. 174-175 [邦訳、52ページ]。

⁶⁷ *Systemata Saturnium* in *Oeuvres*, 15, pp. 209-353 [邦訳、科学の名著、『ホイヘンス』、117-176ページ]。

⁶⁸ *Oeuvres*, 15, pp. 228-229 [邦訳、124ページ]。

⁶⁹ *Oeuvres*, 15, pp. 214-215 [邦訳、119ページ]。

⁷⁰ この23フィート望遠鏡は、12フィートのものと並んで、ホイヘンス兄弟の代表的な望遠鏡の一つである。なお、彼らが後に作った123フィート望遠鏡とこれがしばしば混同されていることに注意。Albert van Helden, 'The Telescope in the Seventeenth Century', *Isis* 65 (1974a), pp. 38-58 (p. 46, n. 44) を参照。

ったためとも、消失した土星の輪の再出現の予測に失敗したためとも言われる⁷¹。

前に論じたように、ホイヘンスは様々な人の過去40年間の観測(第26図)を検討し、自分の観測と比較して自己のモデルの正当性を主張した。ホイヘンスによると、土星の輪は黄道面に対して約20度傾いて土星を丸く囲むもので、本体とは接触していない。これは平板であり、非常に固いものでできているとされた⁷²。

レンとホイヘンス

レンがホイヘンスの土星の輪の理論を知ったのは、1659年始めごろのことであった。その情報は、ホイヘンスからウォリスに宛てた書簡を介してレンに伝わったと思われる⁷³。土星に関する情報は、それ以前からウォリスとホイヘンスの間でやりとりされていた。例えば、土星の衛星の発見は、発見の約3カ月後の1655年6月に、アナグラムとしてホイヘンスからウォリスに伝えられた⁷⁴。一方、ウォリスは、イギリスでもニールとレンが土星の衛星に当たるものを見ていたことをホイヘンスに書き送った。ニールとレンは、それを恒星と錯誤していたのであった⁷⁵。レンは1657年のグレシャム着任講演でホイヘンスが衛星を発見したことに言及しており⁷⁶、さらに翌年の『土星の本体について』の中でこれを讃えた⁷⁷。だが、『土星の本体について』をレンが執筆した1658年の段階では、ホイヘンスの土星の輪のモデルの情報は、イギリスに届いていなかった。

レンがホイヘンスのモデルを知ったのは、『土星の体系』が公刊される半年ほど前である。レンは、そのモデルの簡潔さ、単純さに打たれ、自らの楕円状の輪のモデルを放棄した。ホイヘンスに先行するレンの『土星の本体について』が公のものになったのは、ホイヘンスの土星の輪の理論が発表された後のことであった⁷⁸。ロンドン王立協会発足から約1年経った1661年の9月4日の会合で、ケネルム・ディグビーは、フランスから送られてきた土星の運動についての仮説を読み上げた。その会合には、レンとニールが出席しており、ニールはレンの土星

⁷¹ Helden(1980), p. 150; 科学の名著、『ホイヘンス』、p. xxxiv.

⁷² *Oeuvres*, 15, pp. 298–299 [邦訳、160ページ]。この輪は比較的厚いもので、真横からそれが見えないのは、リングの縁が光を吸収するためであるとされた。ホイヘンスのこの考えは不評で、輪は薄く、流体などでできているという説が有力となった。Helden(1980), p. 153.

⁷³ Helden(1968), p. 217; Huygens à Wallis, 31 janv. 1659, *Oeuvres*, 2, pp. 329–331 (p. 330).

⁷⁴ Huygens à Wallis, 13 juin 1655, *Oeuvres*, 1, pp. 331–333 (p. 332).

⁷⁵ Huygens à Wallis, 1 janv. 1659, *Oeuvres*, 2, p. 306. このことは、『土星の体系』でも言及されている。*Oeuvres*, 15, pp. 254–255 [邦訳、136ページ]。

⁷⁶ Wren, Jr.(1750), p. 205.

⁷⁷ Helden(1968), p. 225; *Oeuvres*, 3, p. 423.

⁷⁸ ホイヘンスの理論が一般に受け入れられるようになったのは、1662年の夏のことだった。Helden(1968), p. 218.

の仮説が存在することを指摘した。レンは、過去に放棄した説を公にすることをためらった。だが、彼の『土星の本体について』は、先に触れた1661年10月1日のニール宛の手紙とともに、結局は王立協会に提出された。それは無断で何通も複製され、ホイヘンスにまで届いた⁷⁹。1662年初頭にレンの理論を知ったホイヘンスは、前年に会ったとき、なぜレンがこのモデルを話題にしなかったのか驚いたという⁸⁰。

これより先の1661年2月、クリストファー・レンは、オクスフォードのサヴィル天文学教授となった。レンはグresham・カレッジの職を辞し、1673年までサヴィル教授を勤めた。彼の関心は、1666年のロンドン大火をほぼ境に、彼を最も有名にした建築に移っていった。光学装置へのレンの興味は、王立協会発足後にも失われたわけではない。例えば、1669年6月に、レンは双曲線レンズを磨く装置を発表した⁸¹。だが、それはもはや彼の中心的関心ではなかった。

そのレンと入れ替わるように、望遠鏡等で中心的な役割を果たすようになった人物。それが、本論文の中心テーマであるロバート・フックであった。

⁷⁹ *Birch* 1, p. 41; Helden(1968), pp. 216-217.

⁸⁰ Bennett(1982), p. 31; *Oeuvres* 4, pp. 23-25 (p. 24).

⁸¹ Bennett(1982), pp. 36-38; *Birch* 2, pp. 377 & 379; *Phil. Trans.*, 4 (1669), pp. 961-962 & 1059-1060. レンの非球面レンズの取り組みがこれより遡ることは、Sprat(1667), p. 314の記述から分かる。

第三章 フックの天文研究

ガリレオ・パラダイムの変化

フックがオクスフォードの自然哲学者の集まりに加わった1655年ごろ、望遠鏡とこれを用いた観測の内容に、変化が生じ始めていた。我々が「ガリレオ・パラダイム」と名付けた研究伝統は、ここでその第一期から第二期に移行したと考えられる¹。その転換の内容は、以下のようである。

ガリレオから1650年代半ばにかけての「ガリレオ・パラダイム」の第一期には、月や土星の観測を中心に、ガリレオの発見の一層の精緻化が進められた。第II部第一章で述べたように、1640年ごろからの漸進的改良によって、望遠鏡の性能はようやくガリレオの水準を越えた。その結果として、1640年代末から1650年代初頭に、ヘヴェリウスやリッショーリが月面誌の研究を発表した。ホイヘンスやレンが土星の輪の理論を発展させたのは、1650年代半ばのことであった。

1655年ごろ始まる第二期に、「ガリレオ・パラダイム」は、内容の洗練から拡張へと向かった。この時期には、ガリレオに知られていなかった天体が発見されたり、惑星の自転や表面の模様など、それまで観測の視野の外にあったものが扱われ始めた。第二期初頭の1655年には、ホイヘンスが土星の衛星を発見した。これは、ガリレオ以降、初めての天体の発見だった。木星表面の帯の中に斑が見いだされ、木星や火星の自転が論じられたのは、1660年代のことであった。ジョヴァンニ・ドメニコ・カッシーニは、第二期の代表的な人物であった²。彼は、1670年代初頭から1680年代半ばまでに、土星に4つの新しい衛星を見いだした。1675年には、土星の輪に、今日「カッシーニの間隙」と称される隙き間を発見した。

当然のことながら、第一期から第二期への変化は徐々に起こったものであり、二つの時期を截然と区分することはできない。だが、1650年代の中葉に、望遠鏡に関係する研究の対象や方法に変化が生じたのである。

こうして、天文観測の対象は、本格的な望遠鏡がなければ原理的に見ることの

¹この時期に望遠鏡による観測のあり方に変化があったことについては、Albert van Helden, 'The Telescope in the Seventeenth Century', *Isis*, 65 (1974a), pp. 38-58 (pp. 53-55)を参照。

²四代続けてパリ天文台長を勤めたカッシーニ親子のうちの初代。

出来ない領域に広がって行った³。第二期は、長大望遠鏡の能力が使い尽くされる1685年ごろまで継続したと考えられる⁴。

この第二期には、「ガリレオ・パラダイム」の枠組みを突き破るような、天文学の新しい発展の萌芽も見られた。それは、望遠鏡の周辺に、精密観測のための器械が登場し始めたことである。例えば、接眼マイクロメーターや望遠鏡準の利用が試みられた。精密天文観測の前提として不可欠な、正確な振り時計が使われ始めたことも見落とせない。位置天文学はティコ・ブラーエの肉眼観測のレベルで停滞していたが、これらの器具は、その水準からの飛躍の基礎を準備するものであった⁵。

これに加えて、パリの天文台（1667年）やグリニッジ天文台（1675年）のように、位置天文学を担う国立の天文台の制度が登場してきたのも、この時期の重要な特徴である。

これらの天文台の観測成果が実際に現れたのは、この時期以降のことである。例えばカッシーニは、1693年に、木星の衛星の位置表を出版した。これは、経度決定や光速の測定に使用できるほど正確なものだった。また、フラムスチード(John Flamsteed, 1646-1719)の恒星の観測（1676-1689年）は、ティコの10倍以上の精度を誇った。それが整理されて出版されたのは、18世紀初頭のことだった⁶。

フックの天文研究は、イギリスにおける「ガリレオ・パラダイム」の展開の中で把握されると同時に、このような「ガリレオ・パラダイム」の性格の変化も念

³ Albert van Helden, 'Huygens and the Astronomers' in H. J. M. Bos et al. (eds.), *Studies on Christiaan Huygens* (Lisse, 1980), pp. 147-165 (p. 149). メディチ星（木星の衛星のうち四つ）は、肉眼観測の限界である5-6等星の明るさを持つ。木星の衛星が肉眼で見えないのは、木星本体の輝きが邪魔をするためである。これらに対して、土星の衛星タイタンは8等星であり、肉眼で見ることが不可能である。この時期に望遠鏡の能力が暗い天体や惑星の細部の観測に及ぶようになったことについては、M. L. Righini Bonelli and Albert van Helden, 'Divini and Campani', *Annali dell'Institute e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 6 (1981), pp. 2-176 (p. 42) を見よ。

⁴ Helden(1980), p. 154. その後、1781年のハーシェル(F. W. Herschel)の天王星の発見まで、新天体は見いだされなかった。

⁵ Helden(1980), pp. 156-157.

⁶ John Flamsteed, *Historia coelestis Britannica* (London, 1725). これは三千にのぼる恒星の正確な星表として、その後約1世紀間の礎となった。Henry C. King, *The History of the Telescope* (London, 1955), p. 63. この星表の出版をめぐるフラムスチードとニュートンの角逐については、Richard S. Westfall, *Never at Rest* (Cambridge, 1980), pp. 655ff.などを参照。参考までに述べると、フラムスチード以前の有力な天文表は、トレド表（11世紀）、アルフォンソ表（1272年ごろ・プトレマイオス体系）、プロシャ表（1551年・コペルニクス体系）、ルドルフ表（1624年・ティコのデータによりケプラーが作成）と変遷した。

頭において理解されなければならない。

フックの初期の天文観測

「ガリレオ・パラダイム」が第二期へ移行を始めてしばらく経った1662年11月12日、フックは王立協会の実験主任に任命された。前々章の冒頭でも述べたとおり、この時期、フックは王立協会の『フィロソフィカル・トランザクションズ』に、天文関係の寄与を多数している。

良く知られているように、『フィロソフィカル・トランザクションズ』は、1665年3月6日、王立協会の初代書記のオルデンバーク個人によって創刊された。その創刊号は、同協会への献辞に始まり、本文の冒頭には、自然哲学的知識を出版することの重要性を指摘した序文が置かれている。

それに続く実質上最初の記事は、ローマの望遠鏡職人カンパーニを扱ったものであり、「光学ガラス〔望遠鏡〕の改良についての説明」⁷と題されている。これは1664年7月にローマで出版されたカンパーニの著書、『二つの新観測の報告(Ragguaglio di due nuove osservazioni)』の要約で、鋳型を使わずに旋盤によってレンズを作製すること、あるいは像に限取りの出ない複合接眼レンズ、土星の輪の観測、木星に見られる凹凸、木星の自転の可能性、木星の衛星が木星表面に作る影等に言及していた。

『二つの新観測の報告』においてカンパーニは、彼に先行する望遠鏡職人ディヴィニのものより、自分の望遠鏡の方が優れていると暗に主張していた。実際カンパーニは、1664年4月、ローマでの「腕くらべ」でディヴィニを破ったばかりであった⁸。

『フィロソフィカル・トランザクションズ』の創刊号の冒頭に、望遠鏡技術の最先端を扱ったこのような記事が置かれていることは、「ガリレオ・パラダイム」が王立協会で大いに関心を引いていたことを示している。

カンパーニの著書紹介に続くのは、「木星の帯の一つにある斑」、「先の彗星の運動の予言」という二つの記事で、これらもまた、天文現象への王立協会の関心の証となる⁹。このうち「木星の帯の一つにある斑」は、1664年5月9日にフックが実施した観測をレポートしたものであり、彼が翌年の1月に王立協会で報告した内容であった¹⁰。12フィートの望遠鏡を用いたこの観測でフックは、木星表

⁷ 'An Account of the Improvement of Optick Glasses', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 1, pp. 2-3.

⁸ Bonelli & Helden(1981), pp. 25-26. カンパーニの勝利がイギリスで知られていたことは、例えば、Oldenburg to Boyle, 9 September 1664, *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 239-244 (p. 240)を見よ。

⁹ 'A Spot in One of the Belts of Jupiter', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 1, p. 3; 'The Motion of the Late Comet Praedicted', *ibid.*, pp. 3-8.

¹⁰ Birch 2, p. 3. 同じページには、カッシーニが木星の衛星の影を観測したことについて言及がある。

面の帯状模様の中に小さな斑点を発見した。この斑点は、時間とともに移動して行ったという。これは、木星の自転もしくはその衛星の影の存在を示唆するものであった¹¹。

フックは、この後の1666年、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に「木星の永久斑について」と題した記事を寄稿した¹²。これは、カッシーニが木星の表面に、衛星の影とは異なる斑点を観測したことについての報告である。この斑を観測することによって、木星が自転していることのみならず、その周期が9時間56分（ほぼ現在の値に等しい）であることをカッシーニは明らかにしたのだった。木星の自転は予測されていたが、それまで立証されてはいなかった。フックは、火星、金星、水星なども自転していることが予想されること、衛星にはこの種の自転は考えられないことをここで指摘した。フックのこの記事は、ヘヴェリウスの月の昇転観測への言及で結ばれている。

ヘルデンらによれば、木星の自転とその斑の発見の栄誉は、今日ではカッシーニに帰されるものである¹³。しかし、フックの上記のような論考は、彼が当時の天文観測の最先端近くを走っていたことを示している。

フックがこの時期に観測したのは、木星だけではない。1666年2月から3月にかけて、フックは火星の観測を行なった。これは3月28日に王立協会で発表されたが、その短い報告が、「火星についてのいくつかの新観測」として『フィロソフィカル・トランザクションズ』に収められた。そこでは、表面の斑が運動することを根拠に、火星が自転していると見られることが指摘された。その細かい内容は、間もなく同誌に、「火星の観測の詳細」として収録された¹⁴。この記述によると、フックはこれ以前から、12フートの望遠鏡による観測を通じて、ある種の斑が火星の表面にあるのを知っていた。彼は逆行の時期を狙って、今度は36フートの長さの望遠鏡を火星に向けた。火星は肉眼で月を見た時のように大き

¹¹ ビュグリーズは、この斑点が木星の衛星の影と解釈された可能性を排除し、フックがここで木星の自転の証拠を示したと断定している。Pughese, p. 589. この主張は、当時の天文学の文脈を考えるなら、受け入れられない。実際オルデンバーグは、フックはこの斑を 'detect' した最初の人物であるという微妙な言い回しをしているし、オズーは、フックのつけたものが衛星の影ではないかという疑問を提示した。Oldenburg to Hevelius, 30 March 1666, *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 72-79 (pp. 72 & 75-76); Auzout to Oldenburg, 8 May 1666 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 110-116 (pp. 110 & 114) を見よ。

¹² 'Of a Permanent Spot in Jupiter', *Phil. Trans.*, 1, No. 8, pp. 143-145.

¹³ Bonelli & Helden(1981), pp. 4, n. 2 & 39.

¹⁴ 'Some New Observations about the Planet Mars', *Phil. Trans.*, 1, No. 11, p. 198; 'The Particulars of Those Observations of the Planet Mars...', *ibid.*, 1, No. 14, pp. 239-242. 火星の表面に何らかの模様が存在することは、フック以前にも気づかれていた。Helden(1974a), pp. 38-58 (p. 55, n. 91).

く見えたが、大気が安定せず、観測は不満足なものだった。彼が詳細なデータをとることができたのは、3月3日から28日にかけての観測であった。この間の火星の表面の模様の変化は、図に描いてこの論文に添付された(第30図・上)。この観測データからフックは、火星の自転が24時間当たり一回または二回と推定した。一方、王立協会への報告では、フックはその自転周期を約24時間とした¹⁵。

『フィロソフィカル・トランザクション』のこの論文の直後には、フックの観測を確認するものとして、カッシーニの火星の自転に関する論文が紹介されている¹⁶。これは、1666年の6月3日に、ヴェネツィアの大使から王立協会に届いた情報だった。これによると、カッシーニは、この年の2月6日(新暦)から4月16日にかけて火星の斑の観測を行なった。彼はカンパーニの方式による24^h - 4 (= 167^h - 4)の望遠鏡を使って観測を始め、程なく、火星の自転周期が24時間40分(現在の値は24時間37分)であることを見いだした。しかし、カンパーニのライバル、ディヴィニの望遠鏡で観測を行なった人々が、自転の周期は13時間であると主張したため、彼はさらに観測を継続し、自分の最初の結論が正しいことを確認したという。この際にカッシーニも観測図を描いた。それは、『フィロソフィカル・トランザクションズ』のフックの図の下に収められた(第30図・右下)。

火星の自転の発見もまた、現在カッシーニのものとされている¹⁷。だが、上の議論から明らかなように、フックとカッシーニの発見の先取権は微妙だった。いずれにしても、フックが当時の天文観測の最先端の人物の一人であったことは確実である。

上の二つの論考が掲載された『フィロソフィカル・トランザクションズ』の同じ号には、フックの実施した木星と土星の観測を記述した二つのレポートも収められている¹⁸。そして、これにも図が添付された(第30図・左下)。二つのレポートのうち、「木星に関してロンドンで最近行なわれたいくつかの観測」においては、木星の帯とその衛星の影の観測が扱われている。また、「同一人物による土星の最近の観測」では、添付された土星の観測図に簡単な解説が加えられた。これらは、フックがそれぞれ1666年6月26日と29日に行なった観測に基づくもので、どちらも王立協会の会合で報告された¹⁹。いずれの観測も、60フィートの長さの望遠鏡を使っていた。木星の観測報告には、この望遠鏡がボイルのものであ

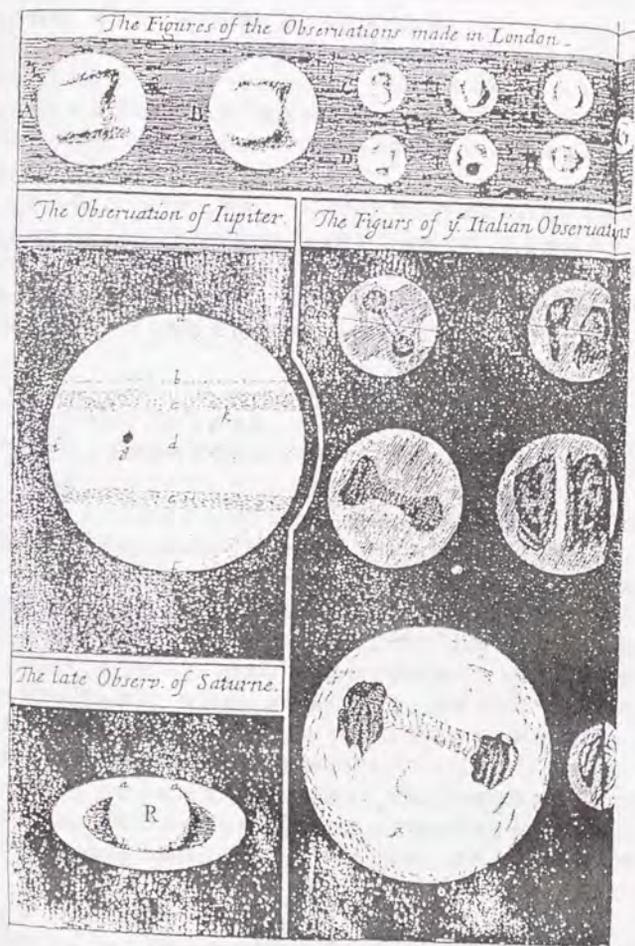
¹⁵ Birch 2, pp. 74-75.

¹⁶ 'Observations Made in Italy, Confirming the Former, and Withall Fixing the Period of the Revolutions of Mars', *Phil. Trans.*, 1 (1666), No. 14, pp. 242-245.

¹⁷ Bonelli & Helden(1981), p. 4.

¹⁸ 'Some Observations Lately Made at London Concerning the Planet Jupiter', *Phil. Trans.*, 1, No. 14, pp. 245-246; 'A Late Observation about Saturn Made by the Same', *ibid.*, pp. 246-247.

¹⁹ Birch 2, pp. 98 & 103.



第30図 フックやカッシーニの描いた惑星の観測図
 上・フックの火星の図 右下・カッシーニの火星の図
 左下・フックの木星と土星の図
 (Phil. Trans., 1 (1666) より)

ったことが明示されている。とはいえ、これらの観測の内容は、従来の発見を大きく越えるものではなかった。

これに先立つ6月22日、フックは何人かの人々と一緒に日蝕の観測を行なった。その結果は、王立協会で発表され、「いくつかの場所で行なわれた最近の日蝕の観測」として、世界各地における観測の報告とともに『フィロソフィカル・トランザクションズ』に収められた²⁰。この記事によれば、これらの日蝕の観測から、それまでの天文表がどれも正確な予測を与えないことが分かったという。フックらの観測は、5フィートの望遠鏡で像を投射して行なわれた。これと同時に、ボイルの60フィート望遠鏡を使って日蝕の縁が観測され、太陽か月のいずれかに大気が存在する可能性が示された。

このように、1660年代中葉、フックは惑星の細部について、かなりの数の天文観測を実行した。惑星表面の模様や惑星の自転といった彼のテーマは、まさに「ガリレオ・パラダイム」の第二期に特徴的な課題であり、フックの研究は、当時の主流と一致するものだった。その研究の水準は、17世紀後半の代表的天文観測家カッシーニに匹敵するものだったのである。

『ミクログラフィア』と望遠鏡

望遠鏡による惑星の観測に取り組んでいた1660年代半ば、これと並行してフックは、『ミクログラフィア』の準備を進めていた。その関心は、当然のごとく『ミクログラフィア』にも現れている。だが、『ミクログラフィア』の天文学的側面には、これまでほとんど関心が払われてこなかった。

『ミクログラフィア』の序でフックは、人間の感覚の欠陥として、対象が感覚器官の能力を凌ぐこと、知覚が誤ることの二つを挙げた²¹。知覚の誤りについては、彼は注意を促すことしかしなかった。しかし、感覚の限界は、道具によって補うことができるという。例えば、望遠鏡や顕微鏡によって、人間には新たな可視的世界が開かれた。重要なのは想像力や方法、思弁ではなく、むしろ現れるがままの物自体を調べて記録する手と目である。機械論的な実験哲学は、この点で議論と論争の哲学に対して優位を占めているという²²。

フックは、記憶や諸感覚の改善を議論し、大気圧の微小変動を見いだす気圧計を論じた。ここでフックは、解剖学の近年の成果に話題を転じ、さらに天文学の達成へと進む。天文観測にとって、古代の人々は、条件の良い場所に暮らしてい

²⁰ Birch 2, p. 100; 'Observations Made in Several Places, Of the Late Eclipse of the Sun...', *Phil. Trans.*, 1 (1666), No. 17, pp. 295-297.

²¹ *Micrographia*, sig. a1v.

²² *Ibid.*, sig. a2. フックの言う機械論とは、質や隠れた質に帯せられている物体の機能を、小さな自然の機械によるものとする理論である。その機械は、運動、形、大きさと自然のテクスチャー (texture) によって規定される。 *Ibid.*, sig. 61r.

た。しかし、

我々は、ガラス〔望遠鏡〕によって彼らを凌いだ。それを使うことで、有名なガリレオ、ヘヴェリウス、ザリヒェム (Zulichem) [のホイヘンス]、そして我が同胞であるルック氏、レン博士、教会と国家の誇りエクセターの大主教〔セス・ウォード氏〕は、彼らをはるかに打ち負かしてしまったのだ²³。

フックにとって、先行する天文学者とは、ヘヴェリウス、ホイヘンス、レン、ウォードなど、「ガリレオ・パラダイム」を展開した人々であり、光学理論を展開したケプラーやデカルトではなかった。

顕微鏡や望遠鏡などの光学器機の改良が論じられるのは、序の後半部分である。フックは、自分が使った光学器機がイギリスで作製されたものであることを述べた。彼は、そのレンズが楕円状であれば一層良いとして、レンズの球面収差の問題を取り上げている²⁴。顕微鏡の観測対象に照明を加える問題に説明を与えた後、フックは望遠鏡の改良を論じた。

望遠鏡に関して言えば、唯一の可能な改良の方法は、長さを長くすることでである。観測対象が遠いので、現在よりもそれを明るく照らすことは考えられない。だから、口径を大きくするには、ガラス〔レンズ〕は非常に大きな球に磨かれなければならない²⁵。

フックは長大望遠鏡を焦点能力からのみ考えており、その機能を必ずしも正しく把握してはいない。だが、焦点距離を長くすると望遠鏡が改良できることは知っていた。フックによると、60フィートの焦点距離のレンズの口径は30フィートのレンズに比例して大きい。彼は、ロンドンのリーヴが作った60フィートのレンズを見たが、その口径は3インチ以上あり、それは、対象をくっきりと見せたという²⁶。

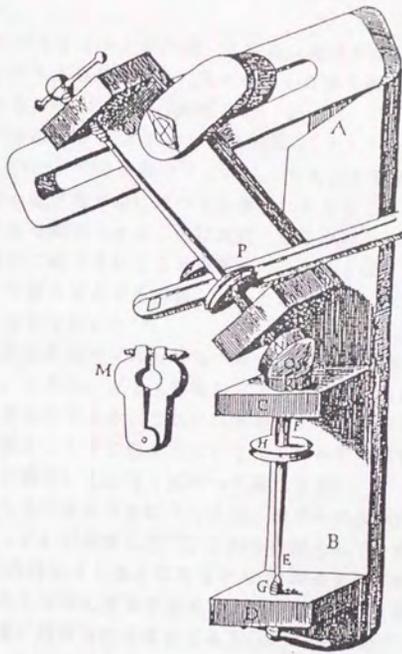
もっとも、30フィートで口径2インチ以上のレンズは希であり、焦点距離の長いレンズを容易に磨くことができれば、望遠鏡の倍率を向上させることができる。フックは、そのための装置として、第31図のような機械を提唱している。これは二軸の研磨装置で、二つの軸が交わる点Qに研磨されるべきレンズが置かれている。レンズは、上側の回転軸に接着されて軸とともに回転しており、これと逆向きに回転する刃Kがレンズを研磨するようになっている。フックはこのような装置を

²³ *Ibid.*, sig. d1v. フックは、この直後の部分で空気に関する発見に言及し、彼の個人的パトロンかつ哲学のパトロンとして、ボイルを讃えることを忘れなかった。

²⁴ *Ibid.*, sig. d2v. Sig. e2v では、理想的な形のレンズに関係して、デカルトの名前が明示されているが、デカルトは、天文学者として言及されているのではない。

²⁵ *Ibid.*, sig. e1r.

²⁶ *Ibid.*, sig. e1v.



第31図 フックの考案したレンズ研磨装置
(*Micrographia* Shem. 1 より)

うまく作れば、焦点距離が千フィートから1万フィートのレンズも作製が可能であると述べた。とはいえ、百フィートを越える望遠鏡は、筒を作るのも使うのも難しいという²⁷。

『ミクログラフィア』の序は、この後、液体の屈折率を測定する工夫に触れ、フックがこの本を執筆するのに主に使用した顕微鏡を解説した。さらに本の出版のいきさつを説明して、序は結ばれている。

実際の天体観測や、それにまつわる問題は、『ミクログラフィア』の終わりの部分に収められた。その冒頭でフックは、大気による光の屈折の問題を論じた²⁸。彼は、月や太陽が地平線に近づくと偏平に見えること、また本来見えないはずの地平線下の星を観測できることに触れ、その原因として、天体からの光が大気によって連続的に曲げられることを挙げた。フックは、光に対する屈折率が物質の密度によって異なることを指摘し、その例として、氷より水の方が屈折率が高いという実験などを引いた²⁹。

彼は、連続屈折のモデルとして、第32図中の原因番号 fig. 1 のような実験装置を考案した。これは、ガラス容器の下半分まで濃い塩水入れ、さらに残りの半分に水を注いだものである。これに左斜め上から光をあてると、光は密度の濃い塩水の方向に向かって下に曲がっていく。このモデル同様に、大気は地表に近い部分ほど密度が濃く、上に行くに従って薄くなる。

それを明らかにするためにフックは、ボイルの法則に関する実験データを『ミクログラフィア』に収録した³⁰。これを前提として、地表から天に伸びる気柱を考えると、大気は徐々に薄くなりながら、無限遠まで広がっていることになる。だから、天体から地球に到達する光は、地表に向かって曲げられる。これが、地平線より下の星が観測される理由であり、地平線の付近で、月や太陽が偏平に見える原因である。これに加えて、屈折によってプリズムの場合と同様に色彩が生じることを考えると、地平線の付近でこれらの天体が赤く見えることも理解される³¹。

これらの大規模な大気の屈折とは別に、温度や湿度によって空気の密度は局所的に変動し、これが星の瞬きなどの原因となる。それは、空気のレンズのごときものである。フックはこの説明の後、天体からの光が大気的作用で逸らされるとするならば、視差を使って惑星までの距離を測定することは難しいのではないかと

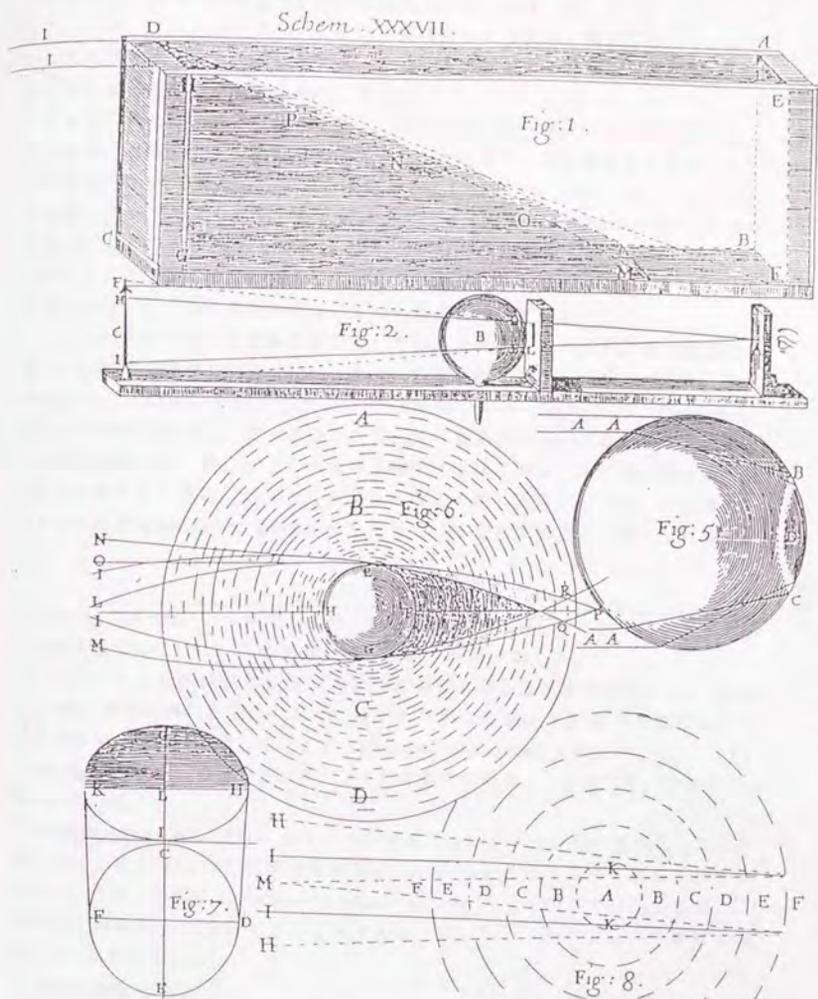
²⁷ *Ibid.*, sig. e1v-e2r.

²⁸ *Ibid.*, pp. 217ff. アンドレードは、フックが大気による光の屈折を考察した最初の人物であるとしているが、周知のごとく、この問題の存在にはプトレマイオス (Ptolemaios) も気づいていた。E. N. da C. Andrade, 'Robert Hooke', *Scientific American*, 191 (1954), pp. 94-98 (p. 96r).

²⁹ これは、フックが1663年2月11日に王立協会で行なった実験である。Birch 1, p. 193. その詳細な内容は、*Philosophical Experiments*, pp. 24-26.

³⁰ これについては、第I部第四章「フックとボイルの法則」の節を参照。

³¹ *Micrographia*, pp. 229-230.



第32図 地球の大気による天体からの光の屈折

(*Micrographia* Schem. 37 より)

fig. 1 は、塩水を用いた大気による屈折のモデル。下方ほど塩分濃度が高いため、光は下に向かって屈折する。fig. 6 はこれを大気に適用したものの。

いう問題を立て、これにいくつかの考察を加えている。彼は、これまで考えられていたより、惑星や月は地球に近い可能性があることを示唆した¹²。

フックは、『ミクログラフィア』で、望遠鏡による実際の観測に言及した。しかしそれは、オリオン、プレヤデス、月の三例だけであり、観測図としては、プレヤデスと月の二つが収められた(第33図)¹³。

プレヤデスとは、日本で昴(すばる)と称される牡牛座のプレヤデス星団のことである。肉眼で七つの星に見えるプレヤデスをガリレオは望遠鏡で観測し、それが実際には36の星からなることを明らかにした。フックも、良好な12フィートの望遠鏡でプレヤデスを観測した。彼は、ガリレオに比べてはるかに多い78の星を見だし、これを図として描いた¹⁴。36フィートの望遠鏡を使用したときには、これよりさらに多くの星が見られたという。彼は、オリオン座についても同様の観測を行なった。その剣の部分、五つの星から成っていた¹⁵。

『ミクログラフィア』全体の結びとして現れるのは、フックの月面の観測である¹⁶。これは、彼が1664年10月に30フィートの望遠鏡で観測したものだ。図に描かれているのは、ヘヴェリウスが'Olympus'、リッチョーリが'Hippurchus'と呼んだ部分である¹⁷。フックはここで、月の表面の窪み、すなわちクレーターの原因を考察した。彼は、月にも地球同様に地下に火があり、一種の噴火がこれを作ると考えた。彼は、地球と月の類似の考えを推し進め、月が丸いのは月自らが重力の原理(principle of gravitation)を持っているためであるとした。それは、地

¹² *Ibid.*, pp. 236-239. フックはここで、望遠鏡に網状のマイクロメータを使用することにも言及している。この問題については、次章で論じる。

¹³ これは、フックが1663年8月26日に王立協会に報告したものであった。Birch, I, p. 297. 後の記録によると、フックはプレヤデスを1664年と65年に観測したとされており、両者は矛盾している。Philosophical Experiments, p. 273.

¹⁴ *Micrographia* p. 241; ガリレオ・ガリレイ、『星界の報告』(岩波文庫、1976年)、38-40ページ。

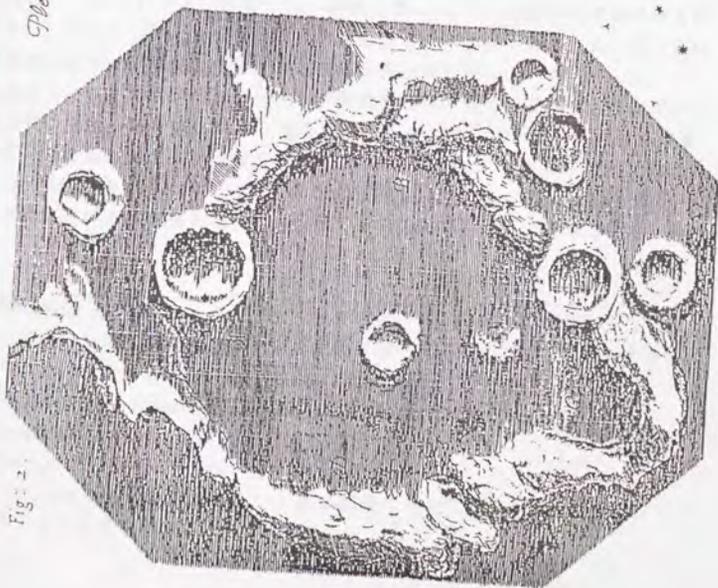
¹⁵ *Micrographia*, p. 242. 彼は、ホイヘンスが見つけたオリオン座の剣の三つの星を36フィート(口径約3.5インチ)の望遠鏡で観測し、これが五つの星から成ることを見つけたという。しかし、*Systema Saturnium* (*Oeuvres*, 15, p. 237)でホイヘンスは、この部分の12個の星に言及しているのである。従って、これはフックの誤解ではないかと思われる。

¹⁶ *Micrographia*, pp. 242ff.

¹⁷ フックはこの直前の1664年9月15日のボイル宛の書簡で、36フィートの望遠鏡の使用を開始したことを知らせている。従って、フックが月の観測に使用した望遠鏡は、30フィートではなく36フィートであり、『ミクログラフィア』の記述はミスプリントではないかと思われる。A. D. C. Simpson, 'Robert Hooke and Practical Optics' in *New Studies* (1989), p. 38, n. 17; Hooke to Boyle, 15 September 1664, *The Works of Honourable Robert Boyle*, 6 vols. (1772), vol. 6, pp. 490-491 (p. 491).

第33図 「ミクログラフィア」に収められた観測による観測図
左は月面図。右はアレヤデス。

Fig. 2.



Pluadea.

Schem. : XXXVIII.



球の日周運動や渦によるものではないという。そして、この問題を検討することは、引力 (attraction) の原因を考察するのに有益であるとして、この著作全体を締めくくった³⁸。

このようにフックは、『ミクログラフィア』で、望遠鏡を使って観測すると肉眼で見る時以上の数の星が見えること、あるいは月面誌の問題を取り上げた。それらとともに、我々が「ガリレオ・パラダイム」と名付けたものに含まれる。既に述べたように、フックに先行するレンは、月面誌に取り組んだ。レンはまた、ブレヤデスの観測も行なったといわれる³⁹。フックは、この面でも、イギリスの「ガリレオ・パラダイム」の延長上に位置している。そして、顕微鏡が地上でもたらず新世界同様に、望遠鏡の改良は、天における新しい発見をもたらすとフックは考えた⁴⁰。

フックと長大望遠鏡

前章で論じたように、イギリスでは、キャヴェンディッシュやゴダードなどによって、1640年代から望遠鏡の改良が取り組まれた。その関心は、その後も絶えることなく、王立協会にも引き継がれた。例えば、1661年4月10日、初代会長のブランカーは、王立協会用の望遠鏡レンズを作製する装置を検討するための委員会を作り、マレー、ニール、ウォリス、ゴダード、レンを委員に任命した⁴¹。

望遠鏡のレンズを楕円や双曲線状にして球面収差を避ける方法は、良く知られていた。既に触れたように、レンやフックもこの改良法を知っていた⁴²。しかし、実際の改良は、イギリスにおいても、望遠鏡を長大にすることで達成された。その努力は、「ガリレオ・パラダイム」が第二期に入った1650年代中葉以降も継続された。そして、『ミクログラフィア』の内容からも分かるように、フックは天文観測とともに、長大な望遠鏡にも関心を持っていた。

本論文でこれまでに取り上げたフックの望遠鏡への言及を見ると、彼が手にした望遠鏡の中に、繰り返し現れるものがいくつかあることが分かる。第4表は、本節までに登場したフックの望遠鏡を整理して一覧表としたものである。これらのうち、12フィート(約3.6メートル)、36フィート(約11メートル)、60フィート(約18メートル)の望遠鏡は、いずれも長大望遠鏡に分類できるものであろう。従って、フックが

³⁸ *Micrographia*, pp. 245-246. フックは、地球のように、月の谷に植物が生えていることも予測した (pp. 242-243)。フックが後に述べたように、月に大気があるか否かについて、当時論争があった。 *Gunther*, 8, p. 145.

³⁹ Thomas Sprat, *The History of the Royal Society of London* (London, 1667), p. 315.

⁴⁰ *Micrographia*, p. 242.

⁴¹ *Birch* 1, p. 20.

⁴² レンの1669年6月の双曲線レンズ研磨装置については、前章末尾の「レンとホイヘンス」の節を参照。

最もよく用いた望遠鏡は、いずれも長大望遠鏡であったと考えられる。

第4表 フックの使用した望遠鏡一覽

略号 MG=*Micrographia* (London, 1665) PT=*Philosophical Transactions*
 BW=*The Works of Honourable Robert Boyle* (London, 1772), 6 vols.

長さ	出典	観測対象など(観測日等)	備考
37フィート	MG, p. 218	星の瞬き	
57フィート	PT, 1, p. 296	日蝕の投影観測(1666.6.22)	
127フィート	MG, p. 218	星の瞬き	
	MG, p. 241	プレヤデス(1663.8.26)	
	PT, 1, p. 3	木星の斑(1664.5.9)	
	PT, 1, p. 240	火星の斑(1666.2以前)	
367フィート	MG, p. 241	プレヤデス	
	MG, p. 242	初初座のベルト(1663.9.7)	直径3.5インチ以上
	BW, 6, p. 491	36ftの使用を開始(1664.9.15・Boyle宛書簡)	
	MG, p. 242	月(1664.10)	30フィートは誤植
	PT, 1, p. 239	火星の斑(1666.2-3)	
60フィート	MG, sig. elv		Reeve製 直径3インチ以上
	BW, 6, p. 491	木星の縞模様(1664.9.15のBoyle宛書簡以前)	
	PT, 1, p. 245	木星の帯と衛星(1666.6.26)	Boyleの所有
	PT, 1, p. 246	土星(1666.6.29)	
	PT, 1, p. 295	日蝕の縁(1666.6.22)	

先に述べたように、この中で一番長い60フィートの望遠鏡は、リーヴが1664年ごろ完成させ、1666年にボイルに売却したものであると推定される⁴³。興味深いのは、36フィートの望遠鏡である。というのは、フックは1663年にこれでオリオン座のベルトを観測しているにも関わらず、翌1664年9月15日のボイル宛書簡で、改めて36フィートの望遠鏡の使用開始を述べているからである。フックは、その望遠鏡で、リーヴの60フィート望遠鏡でしか見たことのない木星の縞模様を見たとい

⁴³ 前章の「望遠鏡職人リーヴ」の節を参照

う⁴⁴。このことは、フックが複数の36フィート望遠鏡を使用していたと考えれば矛盾なく説明できる。フックは、1664年9月以前から36フィート望遠鏡を使っていたが、この時、新しい36フィートの装置も使い始めたのだった。

ところで、古い方の36フィート望遠鏡に該当すると考えられるのは、1658年、ポール・ニールがグレシャム・カレッジに寄贈した35フィート望遠鏡である。これについては前に一度言及したが⁴⁵、この望遠鏡は、グレシャム・カレッジに作られた「オベリスク」に据え付けられ、レンの土星の模型はそれに掲げられた。

王立協会に所蔵されたフックの手稿の中には、この望遠鏡を記録したものがある⁴⁶。第34図は、この手稿に添付された図で、これから望遠鏡がどのように設置されたのかが分かる。この望遠鏡は、36フィートの対物レンズを使い、全長は40フィートだった。図に描かれているのはグレシャム・カレッジの中庭であり、中央に高さ50フィート（約15メートル）の支柱が立てられている。その支柱から、望遠鏡はロープで釣り下げられた⁴⁷。

フックは、レンがこの望遠鏡と、もう一つの28フィート望遠鏡を使用して、土星のモデルを構築したと述べている。レンは、この望遠鏡で月の観測も行ない、そのモデルを作って国王に献上した⁴⁸。その模型とは、1661年8月に、レンがチャールズ二世に贈ったものに他ならない。この36フィート望遠鏡を使用したのは、レンだけではない。彼と同じオクスフォードのグループの出身で、当時グレシャム・カレッジの幾何学教授であったローレンス・ルックも、これを使って諸惑星

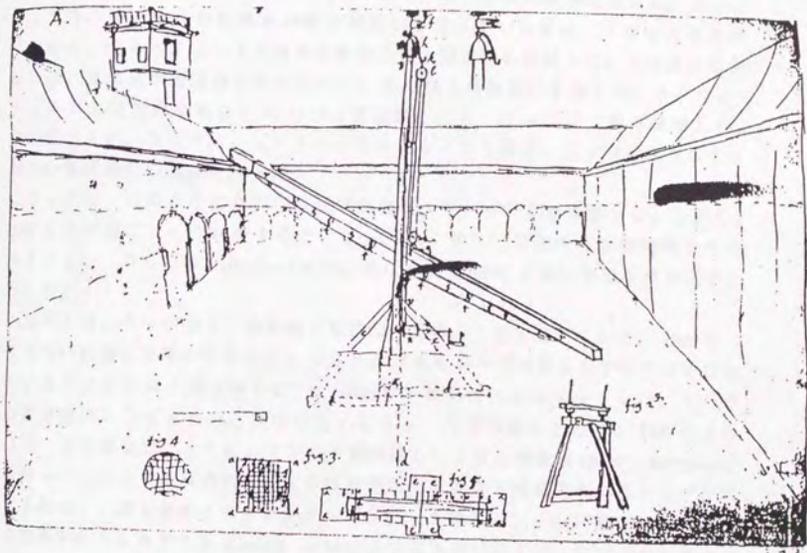
⁴⁴ Hooke to Boyle, 15 September 1664, *The Works of Honourable Robert Boyle*, vol. 6, pp. 490-491 (p. 491). この部分のフックの記述はやや曖昧で、解釈に困難がある。彼は、望遠鏡のチューブの完成前に観測を行なったことになってしまうからである。このチューブには、1664年9月7日に王立協会が予算をつけた。Birch, 1, p. 465.

⁴⁵ 前章の「クリストファー・レンと望遠鏡」の節を参照。1658年、グレシャム・カレッジが反乱軍に占拠されている時、スプラットはレンに宛てて手紙を書き、グレシャムに「今あなたがあなたの望遠鏡を使いに来たら、天国を地獄から覗きに飛び込むようなものです」と述べた。これは、この望遠鏡を指すものと思われる。Wren, Jr.(1750), p. 254.

⁴⁶ Royal Society Classified Papers, vol. 20 (Hooke Papers), No. 61, ff. 129r-136v. レンの土星の観測およびローレンス・ルックの観測が扱われていることから考えて、この手稿の扱っている内容は明らかに1660年代初頭以前のものである。だが、レンの称号が「Sir」とされているので、手稿自体が書かれたのは、レンがこの称号を受けた1673年以降であると推定される。cf. Pugliese, pp. 569-576.

⁴⁷ Royal Society Classified Papers, vol. 20, No. 61, f. 129r.

⁴⁸ *Ibid.*, f. 130r. 前章の「クリストファー・レンと望遠鏡」の節を参照。



第34図 グレシャム・カレッジの中庭に設置された望遠鏡
(出典・Royal Society Classified Papers, vol. 20, f. 134r)

の観測を行なった⁸⁹。このように、グレシャム・カレッジの望遠鏡は複数の人物によって共用された。従って、フックがこれを観測に用いたと考えるのは自然な仮定であると思われる。

フックと望遠鏡職人

フックが王立協会の実験主任として活躍を始めた1660年代、前章で一節を設けて論じたロンドンの光学器機職人リーヴは、その活動の頂点にあった。ニューカッスル・サークルの仕事で1640年代に引き受けていた彼は、イギリス革命期になると、オクスフォードの自然学者達に長大望遠鏡を供給した。王政復古の前後には、彼は長大望遠鏡だけではなく、顕微鏡も商業的に販売した。リーヴは、フックや王立協会の勧めで60フィートの望遠鏡を作り、フックはこれを使用した。後に論じるが、フックはニュートンが登場するよりも早く、リーヴと協力して反射式の望遠鏡と顕微鏡を試した。

フックは、このように初期には光学器機職人リーヴと関係を持った。しかし、1660年代半ばにリーヴが没すると、フックは、新しい世代の光学器機職人クリストファー・コック(Christopher Cock(s), 時に Cox, d. 1696)と強い関係を持つようになった。

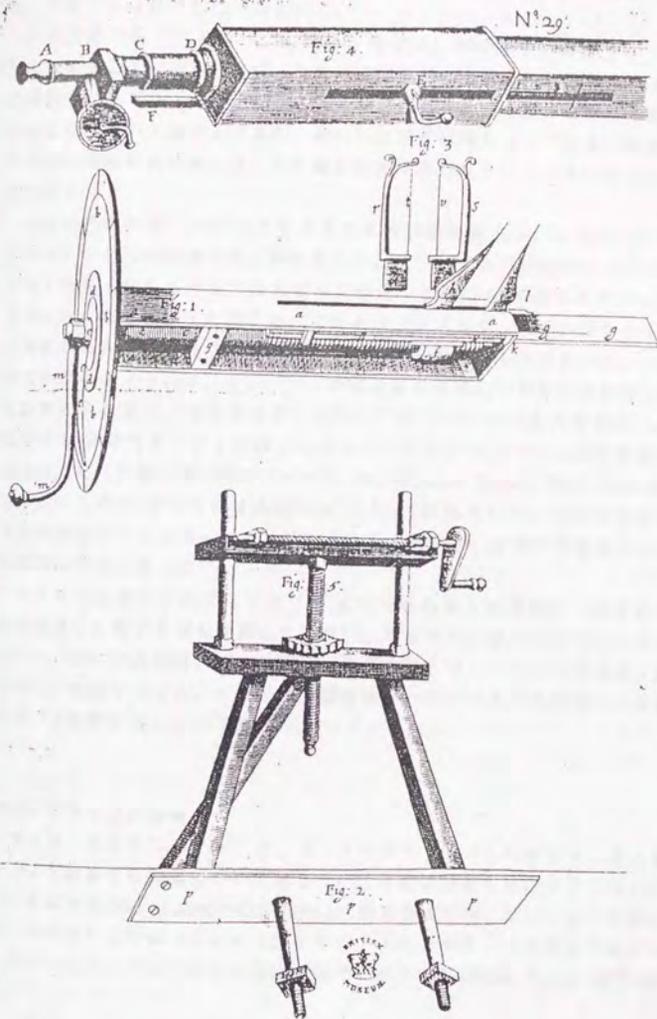
コックは、リーヴの下で徒弟修行を行なった職人と推定されている。1666年、リーヴの死後に年季が明けると、コックは同業のリーヴの息子を手伝うのではなく、自分の店を開く道を選んだ⁹⁰。1668年、無名時代のニュートンは、リーヴの望遠鏡のレンズを自分と大学のために各々一つずつ購入した⁹¹。1669年2月11日、王立協会はフックに、「コック製の新しい大きな顕微鏡(great microscope)を持ってくるように求めた」。それは翌週に王立協会で精査され、買い上げが決定された⁹²。同じ年の5月4日、オルデンバーグはカッシーニに宛てて、イギリス訪問中のトスカナ大公(Cosimo de'Medici)の立ち会いの下で、カンパーニとコックの望遠鏡が比較されたことを書き送った。その比較では、コックのものがカン

⁸⁹ *Ibid.*, f. 131r. ルックは1662年に没したが、生前、木星の衛星の蝕を研究していたことが知られている。Oldenburg to Hevelius, 18 February 1663, *Oldenburg Correspondence*, 2, pp. 25-30 (pp. 27-28). 彼のこの観測に関係する記録と思われるものとして、Sprat(1667), pp. 183-192.

⁹⁰ A. D. C. Simpson, 'Richard Reeve', *Vistas. Astron.*, 28 (1985), pp. 357-365 (pp. 360-363). シンプソンは、この論文でコックを皮職人の息子としたが、4年後の論文では、光学器機職人のジョン・コック(John Cock)の息子であると見解を変更している。Simpson(1989), p. 47.

⁹¹ Simpson(1989), pp. 51-52. 記録は、J. A. Bennett, *Astronomy and Navigation: Catalogue of the Whipple Museum* (Cambridge, 1983), item 117に見られる。

⁹² *Birch* 3, pp. 346, 348 & 349.



Towneley's micrometer

From *Philosophical Transactions*, no. 29 (11 November 1667)

By courtesy of the British Museum

第41図 タウンリーのマイクロメーター

(*Oldenburg Corresp.*, 3, Plate 11)

パーニのものを「わずかに変いだ」という⁵³。こうしてコックの名声は、1670年ごろまでには確立したと思われる。

この時期のフックとコックの親密な関係は、1672年8月に始まるフックの日記から知ることができる。コックの名前は日記の至るところに現れ、彼らが頻繁に顔を合わせていたことが分かる⁵⁴。光学器機をめぐる彼らの協力の具体例については後に改めて取り上げるが、優れた光学器機職人リーヴを失った後も、フックが次世代の有能な職人コックの協力を再び得られるようになった点は極めて重要である。

1660年代の中葉、イギリスを代表する光学器機職人は、このようにリーヴからコックへと入れ替わった。興味深いことに、イタリアにおいてカンパーニがデヴィニを「腕くらべ」で打ち破ったのは、まさに60年代半ばの1664年のことであった。先にも述べたように、『フィロソフィカル・トランザクションズ』の創刊号の実質上の最初の記事は、カンパーニを扱ったものであった。イタリアの天文学者カッシーニは、カンパーニの望遠鏡を使用して木星や火星等の細部に関する事実を発見し、自らの名聲と同時に、カンパーニの名声を高めた。1669年にルイ14世の招きでパリに移ったカッシーニは、カンパーニの望遠鏡で観測を続けた。その性能に驚いたコルベール(Jean-Baptiste Colbert, 1619-1683)は、パリの天文台のための34フィートの望遠鏡をカンパーニに発注した。1671年9月にパリ天文台の台長となったカッシーニは、それらを用いて、土星の新衛星やカッシーニの間隙の発見に至った⁵⁵。

フックの証言によれば、リーヴの60フィート級の長大望遠鏡は、当時のイタリアの望遠鏡に匹敵する性能を持っていた⁵⁶。そして上に述べたように、その次の世代のコックの望遠鏡は、イタリアの次世代の職人カンパーニの望遠鏡に勝るとも劣らない性能を持った。イギリスの望遠鏡は、今やイタリア製のものと十分に肩を並べる装置となったのであった。

オズーとフックの論争

先に述べたように、フックは、『ミクログラフィア』の序文で、長大望遠鏡のレンズを研磨する装置について論じた。この記述に対して、フランスのアドリアン・オズー(Adrien Auzout, 1622-1691)は、疑念を表した。フックはこの疑念に反論し、そのやりとりは『フィロソフィカル・トランザクションズ』に収められた。オズーはルーアン生まれの自然学者で、パスカル(Blaise Pascal, 1623-1662)の有

⁵³ Oldenburg to Cassini, 4 May 1669, *Oldenburg Corresp.*, 5, pp. 510-511.

⁵⁴ *Diary 1672-1680*, Index (p. 483) 参照。また、Simpson(1989), p. 52 も見よ。

⁵⁵ King(1955), pp. 58-59; Bonelli & Helden(1981), p. 42, n. 103; *Phil. Trans.*, 8 (1673), No. 92, pp. 5178-5185 (p. 5180); *ibid.*, 16 (1686), No. 181, pp. 79-84 (p. 83).

⁵⁶ *Philosophical Experiments*, p. 390.

名な「真空中の真空の実験」の考案者として、その名前は科学史の教科書にも現れる⁵⁷。彼がこの実験を考案したのは、1647年のことと言われる。オズーは天文学にも関心を持ち、カッシーニをフランスに呼ぶための交渉にも従事したという⁵⁸。後に再び言及するが、オズーは300フィートを超える非常に長大な望遠鏡レンズを試みたことでも知られる。

オズーの名前は、『フィロソフィカル・トランザクションズ』の創刊号にも現れる。これは彼が王立協会に贈った論文についての説明で、この論文でオズーは、そのころ出現した彗星の運動の予言を扱った⁵⁹。

フックとのやりとりのきっかけとなったのは、オズーが書いた手紙形式の小冊子、『シャルル師への手紙 (*Lettre à monsieur l'Abbé Charles*)』(Paris, 1665b)における議論であった。『フィロソフィカル・トランザクションズ』は、その冊子の内容を二つの記事に分けて紹介した。その第一番目でオズーは、望遠鏡の対物レンズの口径は、一般にその焦点距離の平方根に比例すると論じた。このことは、長大望遠鏡では、十分に明るい観測像が得られないことを意味する。なぜなら、焦点距離の長い望遠鏡ほど倍率は高いが、口径を同時に大きくしない限り、拡大される分だけ像は暗くなるからである。もし口径が焦点距離の平方根にしか比例しないとすれば、長大な望遠鏡の像は暗く、実用に耐えないものとなる。オズーはここでフックの名前を挙げてはいないが、これはフックの長大望遠鏡に対する間接的な批判であった。実は、オズー自身も長大望遠鏡に関心を持っていた。しかし、フックは『ミクログラフィア』で、自分の装置なら1万フィートのレンズを磨くこともできるという、極端な主張までしていた。

『フィロソフィカル・トランザクションズ』の第二番目の記事では⁶⁰、オズーはフックのレンズ研磨の試みを、彼の名前を挙げて明示的に批判している。オズーはまず、長大望遠鏡のレンズの材料となる大きく良好なガラスの入手が困難であることを指摘する。大きいガラスの場合、脈や泡が入っているものが多い。次にオズーは、フックのものに限らず、大きいレンズを磨く研磨装置一般が持っている難点を挙げた。この種の研磨装置では、レンズの中心がズレ易く、研磨に使

⁵⁷ 例えば、広重徹、『物理学史』（培風館、1968年）、第1巻、30ページ。「真空中の真空の実験」を含むパスカルの実験をめぐるのは、小柳公代、『パスカルにおける実験の研究』、『自然』、1978年5月号、68-77ページが示唆に富む。また、同著者の、『パスカル・直観から断定まで』（名古屋大学出版会、1992年）も参照のこと。

⁵⁸ DSB, 'G. Cassini', vol. 3, pp. 100-106 (p. 102). オズーは、1666年5月23日に王立協会の会員に選出された (*Birch* 2, p. 90)。彼はまた、アカデミー・デ・シアンズのメンバーでもあった。

⁵⁹ 'The Motion of the Late Comet Praedicted', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 1, pp. 3-8.

⁶⁰ 'Considerations of Monsieur Auzout upon Mr. Hook's New Instrument for Grinding of Optick-Glasses', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 4, pp. 57-63.

用する磨き型の形も崩れ易い。人間の力には限界がある上、一概に力を加えて磨くことは難しい。だが、レンズは予想以上に精密さを要するものである。そのことを考えると、フックが実際に装置を試みたとは思えないとオズーは述べた。『ミクログラフィア』で提案された装置（第31図）固有の問題としては、大焦点のレンズを磨く時に、二つの研磨軸の成す角度が小さくなることをオズーは挙げた。フックが例とした口径10インチで長さ千フィートのレンズの場合、軸が成す角度はわずかに6-7分ほどでしかない。研磨装置の二軸を同一平面に保つのも困難だが、両者の成す角がこれだけ小さいと、研磨されるガラスの中心はすぐにズレてしまう。しかも、ガラスの表面には磨き粉が入って、隙間が生じている。オズーは、千フィートどころか、300フィートのレンズも磨くのは容易ではないとする。たとえ300フィートのレンズで千倍の倍率の長大望遠鏡を作ってみても、口径が相対的に小さいため像が暗く、月も見えないと言う。もっとも、長大望遠鏡を作るというフックの主張は、単にレンズ磨き装置の宣伝に過ぎず、将来の目標といったものかも知れない。このような批判に続けてオズーは、フックの装置に対して、一応の改良法を提案した。彼は、研磨するガラスを、フックの場合のように上の軸に据え付けるのではなく、下の軸に水平に置くと良いという。上軸は一本ではなく二本として、磨き型をシリンダー状にすれば、ガラスは安定する。最後にオズーは、望遠鏡にとって大事なのは焦点距離の長さではなく、レンズの口径と接眼レンズの深さであること、口径の点では、カンパーニも十分ではないことを指摘した。

これに対するフックの反論は、第二番目のオズーの記事に続く形で、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に収録された⁶¹。その冒頭でフックは、レンズ研磨装置を試みせず議論しているというオズーの批判に反論し、確かに自分はまだ成功に至っていないが、できる限りのことはやってみたと述べた。そして、オズーこそ実際には何もやっていないのではないかと切り返した。球面レンズ研磨装置をフックが実際に作製していたことは、バーチの『ロンドン王立協会の歴史』の1664年の記録や、このころのフックのボイル宛書簡から裏付けることができる⁶²。フックは、『ミクログラフィア』が王立協会の公の認可を得て出

⁶¹ 'Mr. Hook's Answer to Monsieur Auzout's Considerations, in a Letter to the Publisher of These Transactions', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 4, pp. 64-69. これは、*Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 383-389 にも収められている。

⁶² *Birch* 1, pp. 417, 477 & 483; Hooke to Boyle, 29 October 1664, *The Works of Honourable Robert Boyle*, vol. 6, pp. 496-497 (p. 497). フックは、この努力を1669年に至るまで継続していた。*Birch* 2, pp. 56 & 385. なお、1669年6月10日のレンの双曲線レンズ研磨装置提案以降、フックは楕円レンズと双曲線レンズを磨く装置の研究も行った。最終的に彼は、レンの装置は実現不可能であり、自らのものについては可能であるとした。*Birch* 2, pp. 379, 388, 399 & 416.

版された以上、その内容は「哲学的事実 (philosophical matter of fact)」⁶³であるという。長大望遠鏡作製に必要な良好なガラスの入手が困難というオズーの批判に対しては、イギリスではヴェネツィアに劣らない脈のない良好なガラスが入手可能であると反論した。研磨の際にレンズの中心がズレるという問題については、むしろ中心のズレたレンズは普通であると彼は述べた。長大望遠鏡のレンズを手で磨くのは難しく、60フィートの良好なレンズを初めて作製したリーヴによれば、うまく行くのは10個のうち一つ程度である。したがって、機械で研磨するのが好ましいとフックは言う。オズーは研磨面が理想的な形でガラスに接することはないというが、削っていくうちに、研磨面の隙間はだんだんと無くなっていく。研磨装置の軸の角度づけは困難ではなく、二軸を同一平面に保つことも容易である。300フィートだけではなく、千フィートの望遠鏡も不可能とは思えないとフックは主張した。そのようなレンズを用いれば、月の生物を見ることも可能である。研磨装置改良の提案については、ガラスを下に置いても事態は同じであり、いずれの場合も軸がガタつくことはないとフック一蹴する。最後に彼は、焦点距離とレンズの口径に関するオズーの理論を不明確なものとして退け、オズーの批判の基本的な根拠を奪う。望遠鏡の口径は、観測対象に応じて決めるべきものとされた。

オズーは、これ以外にも何通かの手紙をオルデンバーグに送った。そのうちの二通はフックに対するかなり長い反論だった。その二通の間に、オルデンバーグはフックの再反論を要約して一度送った⁶⁴。やりとりの内容は、ほとんどが上に論じたことの繰り返してあり、両者の見解が平行線をたどったことが分かる。多少目だつ点としては、イギリスで良好なガラスができるというフックの主張をオズーが受け入れたこと、リーヴとオズーのどちらが先に60フィートの良好な望遠鏡を作ったかということが話題になったこと、短焦点レンズの焦点距離を伸ばすフックの試みにオズーが関心を示したこと、月の生物を望遠鏡で見る可能性を否定するのにオズーがかなりこだわったことがある。最後の問題に関連して、フックは肉眼で1分以下の角度を見ることのできる人はほとんどいないと述べた⁶⁵。これは、本論文の後の議論のなかで、重要な役割を果たす論点となる。これらの新

⁶³ *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 4, p. 65. この部分のフックの議論は、'matter of fact' の創出の重要性を論じたシェイピンとシェーファーの議論と重ね合わせると興味深いものである。Steven Shapin and Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump* (Princeton, 1985), Chap. 2, 'Seeing and Believing: The Experimental Production of Pneumatic Facts' などを見よ。ただし、王立協会は、フックの主張とは異なり、*Micrographia* の内容を確実なものとは認めず、推論として出版の認可を行なっていた。

⁶⁴ Auzout to Oldenburg, 22 June 1665 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 410-427; Oldenburg to Auzout, 23 July 1665, *ibid.*, pp. 439-443; Auzout to Oldenburg, 12 August 1665 (O. S.), *ibid.*, pp. 461-475. フックはさらに反論を考えていたが、これを記録したものは見当たらない。Hooke to Oldenburg, February 1666, *ibid.*, 3, pp. 43-44 (p. 43).

⁶⁵ *Ibid.*, 2, p. 443.

たなテーマのうち、月の生物の問題とレンズの焦点を伸ばす問題に触れた部分は、『フィロソフィカル・トランザクションズ』に抜粋して収録された⁶⁶。

彼らのこのようなやりとりは、オズーによって、『オズー氏の考察に対するフック氏の回答 (*Réponse de Monsieur Hook aux considerations de M. Auzout*)』(Paris, 1665a) という冊子としてまとめられた⁶⁷。

オズーは後に再び王立協会に登場するが、その時には、議論はこれとは別のテーマをめぐる展開された。

天文観測家ヘヴェリウス

フックの望遠鏡への取り組みに関心を持ったのは、オズーだけではない。当時優れた天文観測家として知られていたヘヴェリウスも、フックの望遠鏡観測に関心を持った。彼らの関わりを論ずる前に、ここではまず、ヘヴェリウスとはいかなる人間であったのか簡単にまとめよう。

ヘヴェリウスは、1611年、バルト海に面した有名なハンザ都市、ダンツィヒ(Danzig、現在のポーランドのGdansk)に生まれた⁶⁸。彼の姓は、現地の言葉では、Hevel, Hövel, Höfelcke, Hewelcke, Höwelcke, Höfelius, Hövelius, Höwelliusなどと様々に綴られた。「ヘヴェリウス」とは、彼が自ら定めたラテン名である。彼の父親は醸造業者であり、ヘヴェリウスは経済的に豊かなこの家の10番目の子として生まれた。彼は末子であったが、3人の兄が亡くなったため、父の醸造所を継ぐ身となった。ヘヴェリウスは、地元のギムナジウムなどで教育を受けた。その一方で、天文学者ペーター・クリューゲル(Peter Krüger)から私的に天文学を学び、天文器械の作製の手ほどきを受けた。1630年、ヘヴェリウスはライデン大学で法律を

⁶⁶ 'Monsieur Auzout's Speculations of the Changes, Likely to be Discovered in the Earth and Moon, by Their Respective Inhabitants', *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 1, pp. 120-123; 'The Instance of the Same Person to Mr. Hook, for Communicating His Contrivance of Making, with a Glass of a Sphere of 20 or 40 Foot Diameter, a Telescope Drawing Several Hundred Foot...', *ibid.*, pp. 123-125. これは、オズーの8月12日の書簡からの抜粋。

⁶⁷ブリティッシュ・ライブラリーに所蔵されるこの本(shelf mark, c.125 d.17)には、オズーの8月12日の仏文書簡の英訳が手稿として添付されている。そのトランスクリプトは、上記のオルデンバーク書簡集に収められた(2, pp. 468-474)。これは、オルデンバークがフックのために訳出したものであると書簡集の編者は述べている(p. 474)。だがむしろ、*Philosophical Transactions*に収録するための翻訳と考えるべきではないかと思われる。

⁶⁸ヘヴェリウスの生涯や天文研究の内容については、学問的に満足のできる先行研究があるとは言いがたい。ここでは、彼の生涯について比較的良く引用されるものとして、Eugene F. MacPike, *Hevelius, Flamsteed and Halley—Three Contemporary Astronomers and Their Mutual Relations* (London, 1937), Chap. 1の記述によった。

学ぶためにオランダに向かった。その途上で彼は、日蝕を見る機会に恵まれた。翌年イギリスに滞在した彼は、1632年にフランスに向かい、ガッサンディ、ブリオー(Ismael Boulliaud, 1605-1694)、キルヒャー(Athanasius Kircher, 1601(2)-1680)などを訪ねた。1634年に帰国すると、その2年後に、ヘヴェリウスは醸造ギルドのメンバーとなった。家業や町の仕事に忙しくなり、彼にとって天文学を継続することは容易ではなくなった。このころの彼は、多少の観測やレンズ作製の勉強、あるいは外国の天文学者との文通に取り組むに止まった。1641年に参事会員となり、ヘヴェリウスの義務はますます重くなった。だが、逆にこの時期から、彼は本格的な天文観測に乗り出した。彼の最初の天文台は、屋敷の階上の小部屋を使ったものだった。1644年には、屋上に塔を建て、やがて大きなプラットフォームの上に小屋を築くなど、ヘヴェリウスは天文台を拡張していった。グリニッジ天文台もバリ天文台もまだない当時、ヘヴェリウスの天文台はヨーロッパ随一を誇り、ポーランド国王もここを訪れたという。1662年に、ヘヴェリウスは最初の妻を失った。翌年再婚した二番目の妻は、彼の天文観測を補佐し、彼の没後には、その遺稿を出版した。その一つ、『天文学の先駆者(Prodromus astronomiae)』(Danzig, 1690)は、1500を越える恒星を、星座のもとに整理したものである。

天文観測を本格化させた1640年ごろ、ヘヴェリウスは手始めに日蝕や月蝕の観測を行なった。観測対象は、やがて太陽の黒点や惑星へと広がって行った。彼の最初の著作は、前々章にも取り上げた1647年の『月面誌』であった。これは彼の最も重要な著作の一つで、4年間の観測をまとめたものだった⁶⁹。ここで彼が与えた月面の地形の名前は、フックの『ミクログラフィア』にも現れる。しかし、ヘヴェリウスの名称体系は、リッチョーリのものによって書き換えられたのであった。

ヘヴェリウスは、イギリスの学者とつながりを持っていた。例えば、彼とサムエル・ハートリブの文通は、遅くとも1647年に遡るものだった⁷⁰。1650年代には、ヘヴェリウスの名声は確立したものとなっていた。例えばホイヘンスは、1659年の著書『土星の体系』の中で、ヘヴェリウスが『土星の本来の形についての論考(Dissertatio de nativa Saturni facie)』(Danzig, 1656)で展開した土星の理論に言及した⁷¹。ヘヴェリウスは、1664年3月30日に王立協会の会員に選出された。彼を会員に迎える提案はこの日になされたが、彼が「卓越した価値を持つ類希な

⁶⁹ King(1955), p. 51.

⁷⁰ Turnbull(1952-3), pp. 101-130 (p. 111). 1654年にハートリブは、ヘヴェリウスが醸造所の仕事を放り出して天文観測に専心していると記録した。Ibid, p. 112. なお、DNB(vol. 9, pp. 72-73)の記述によれば、ハートリブの母親は、ヘヴェリウスの出身地ダンツィヒのイギリス人商人の娘だった。

⁷¹ Oeuvres, 15, pp. 284ff. [邦訳、科学の名著、第2期第10巻『ホイヘンス』(朝日出版社、1989年)、152ページ以下].

る人物であるために、即日選出された」⁷²のだった。1652年、ヘヴェリウスは彗星の観測を開始した。それは、それ以降数回の観測とともに、『彗星誌 (Cometographia)』(Danzig, 1668)として出版された。

ヘヴェリウスと長大望遠鏡

ヘヴェリウスは、当時の他の人々と同様に、望遠鏡の改良に関心を持っていた。ヘヴェリウスも、非球面レンズによって球面収差を回避することを知っていた⁷³。しかし、彼の場合にもまた、実際の改良は望遠鏡を長大にする方向で進められた。ヘヴェリウスの最初の著作である『月面誌』で使用された望遠鏡は、一番長いもので約11フィートだった⁷⁴。これは、さほど長い望遠鏡とはいえないが、彼はより長い望遠鏡に関心を示すようになった。

その関心は、イギリスとの書簡のやりとりにも現れた。ヘヴェリウスは、1666年、フックの木星と火星の観測の見事さに強い印象を受けて、イギリスからリーヴの60フィート望遠鏡を購入しようと試みた。彼はまず、リーヴの望遠鏡の構造と設置方法について説明を求めた⁷⁵。これに答えてフックは、自分が使用した望遠鏡の詳細を、図を添付して解説した(第35図)⁷⁶。それによると、この望遠鏡の筒は、四角い椀材の長い箱(10インチ角、長さ33フィート)を二個つないだものだった。総重量200ポンド以上のこの望遠鏡は、図のように柱から釣り下げられた。

翌年の10月、ヘヴェリウスは、これと同じ望遠鏡を作って送るようにオルデ

⁷² Birch 1, p. 404.

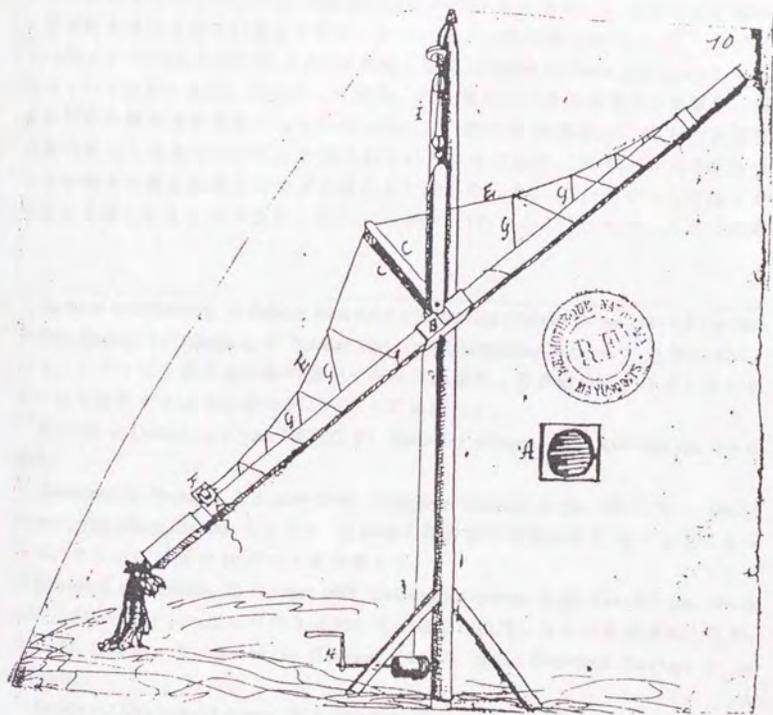
⁷³ Hevelius to Oldenburg (O. S.), 22 May 1665, *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 392-399 (pp. 393 & 396). ここでヘヴェリウスは、10年ほど前に円錐曲線レンズの作製に成功したと申し立てた。だが、彼の試みが成功したという証拠はない。A. D. C. Simpson,

'The Early Development of the Reflecting Telescope in Britain', unpublished Ph. D. thesis, Edinburgh University, 1981, p. 24.

⁷⁴ King(1955), p. 51; Silvio A. Bendini, 'The Aerial Telescope', *Technol. Cult.*, 8 (1967), pp. 395-401 (p. 398). 12フィートという記述が普通だが、ダンツィヒの1フィートが通常の11インチに相当することを考慮した。なお、この望遠鏡の倍率は約50倍であった。

⁷⁵ Hevelius to Oldenburg, 19 October 1666 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 4, pp. 248-259 (pp. 250 & 256-257).

⁷⁶ Hooke to Oldenburg, c. 20 February 1667, *Oldenburg Corresp.*, 4, pp. 347-349; Oldenburg to Hevelius, 27 February 1667, *ibid.*, pp. 350-355. 後者は、フックの手紙をオルデンバーグがラテン訳してヘヴェリウスに送付したもの。60フィート望遠鏡のレンズは、25ポンドと高価なものだった。後になってフックは、彼がヘヴェリウスに知らせた方法は、自分自身が用いたロープを使用した方法とは異なり、木の補強材を使用したものであったと述べた。Gunther, 8, pp. 68-69.



Hooke's long telescope, 1667

第35図 フックがヘヴェリウスに示唆した長大望遠鏡の設置法
 (Oldenburg Corresp, 4 より)

ンバークに注文した⁷⁷。ヘヴェリウスは、望遠鏡の選択にあたって、「その技術に非常に熟達した」人物であるフックの助言を得るようにオルデンバークに指定した⁷⁸。その望遠鏡は、ヘヴェリウスが後に追加発注したフック型の顕微鏡とともに、2年後の1669年8月にロンドンから送り出された。これらは、光学器職人クリストファー・コックが作製したものだった⁷⁹。フックとオルデンバークは、リーヴの息子にこれを注文するのを好まず、新世代の優秀な職人コックに発注したのであった⁸⁰。

ヘヴェリウスの元に着いた望遠鏡の焦点距離は約50フィートで、当初予定したものよりも短いものであった。だが彼は、このレンズを、これまで使った中で最高のものと激賞したという⁸¹。1670年6月、ヘヴェリウスは、このレンズを使った望遠鏡を立ち上げていることをオルデンバークに書き送った⁸²。

ヘヴェリウスは、1673年、『天文機械・前編 (*Machina coelestis, pars prior*)』をダンツィヒで出版した⁸³。これは、四分儀、六分儀などの星の位置測定装置や、望遠鏡などの観測器機を扱ったものだった。この本の第20章は、「60フィート光学望遠鏡の組立と設置について」と題されている。そこには、30フィートから140フィートまでの様々な焦点距離のレンズが現れる⁸⁴。そのうち、50フィートのレンズはイギリスから送られたものであり、60フィートと70フィートのレンズは、ヘヴェリウスが親

⁷⁷ Hevelius to Oldenburg, 19 October 1666 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 248–259 (pp. 250 & 256); Hevelius to Oldenburg, 11 October 1667 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 517–520.

ヘヴェリウスは、彼の著作を何冊かイギリスに送り、望遠鏡の支払に充てるためにこれを売却するようにオルデンバークに依頼した。

⁷⁸ Hevelius to Oldenburg, 3 June 1668 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 4, pp. 443–449 (pp. 444 & 447).

⁷⁹ Oldenburg to Hevelius, 2 August 1669, *Oldenburg Corresp.*, 6, pp. 165–171; ‘Cock’s Receipt’, *Oldenburg Corresp.*, 6, p. 172. 望遠鏡と顕微鏡の価格は合計40ポンドであったが、コックは追加の10ポンドを希望した。

⁸⁰ Oldenburg to Hevelius, 28 October 1668, *Oldenburg Corresp.*, 5, pp. 112–117 (pp. 114 & 116). リーヴは、ヘヴェリウスに対して、自分が受注したい旨を直接訴えたが、それは叶わなかった。Reeve to Hevelius, 24 July 1668, *Oldenburg Corresp.*, 4, pp. 581–582.

⁸¹ Vernon to Oldenburg, 25 August 1670, *Oldenburg Corresp.*, 7, pp. 139–142 (p. 140).

⁸² Hevelius to Oldenburg, 25 June 1670 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 7, pp. 44–50 (pp. 44 & 47–48).

⁸³ ヘヴェリウスは、この著作の執筆に既に1663年にとりかかっていた。Hevelius to Oldenburg, 25 December 1663 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 2, pp. 136–140 (p. 139). なお、後編の *Machina coelestis, pars posterior* (Danzig, 1679) は、出版直後の火事のために100部程度しか残らなかった。

⁸⁴ Johannes Hevelius, *Machina coelestis, pars prior* (Danzig, 1673), pp. 391–392.

しい職人のブラッティーニ(Tito Livo Brattini, 1617-1681)から送られたものではないかと推定される⁸⁵。

興味深いのは、彼が60フィート望遠鏡を据え付けた方法である(第36図)。第35図と比較すると容易に分かるように、その方法は「イギリスに従ったもの」⁸⁶であり、フックがヘヴェリウスに示唆したものだった。そのことは、二本の筒をつなぐジョイントの部分に特徴的に現れている。フックもヘヴェリウスも約30フィートの四角い筒を用い⁸⁷、高い支柱から釣り下げたロープは、ジョイント部分から上方に伸びる柄に接続された。どちらの場合も、釣り下げロープは、支柱の根元にあるウィンチで上下するようになっている。ヘヴェリウスは、フックが望遠鏡に熟達していることを認めたが、その影響は、具体的にはこのような形で現れた。

ヘヴェリウスの『天文機械・前編』には、非常に長い望遠鏡も現れた。これは、第21章、「我々の最長の望遠鏡について」で扱われた。ここでヘヴェリウスは、150フィートの望遠鏡について論じた(第37図)。この望遠鏡は、40フィートの樫の板を組み合わせて作られた。60フィートの望遠鏡の時とは、各単位ブロックは、樫の板を四角くつなぎ合わせた筒だった。150フィートの望遠鏡の場合には、全体を軽量にする必要があるため、1ブロックは二枚の板で作られた。板はT字型に組み合わせられ、これと垂直に、光の通る孔を開けた板と支え板が据え付けられた⁸⁸。このようなブロックを四つつなぎ合わせて、全体をロープで巧みに釣り下げるようになっていた。使用されたレンズは、ブラッティーニが作製したものであったと思われる⁸⁹。ヘヴェリウスのこの望遠鏡は、対物レンズから接眼レンズに至る光路の大部分がむき出しになっている。この部分を布で覆ったり、紙の筒を用いることはできるが、ヘヴェリウスによると、覆いがなくても実用上何等差し支えは

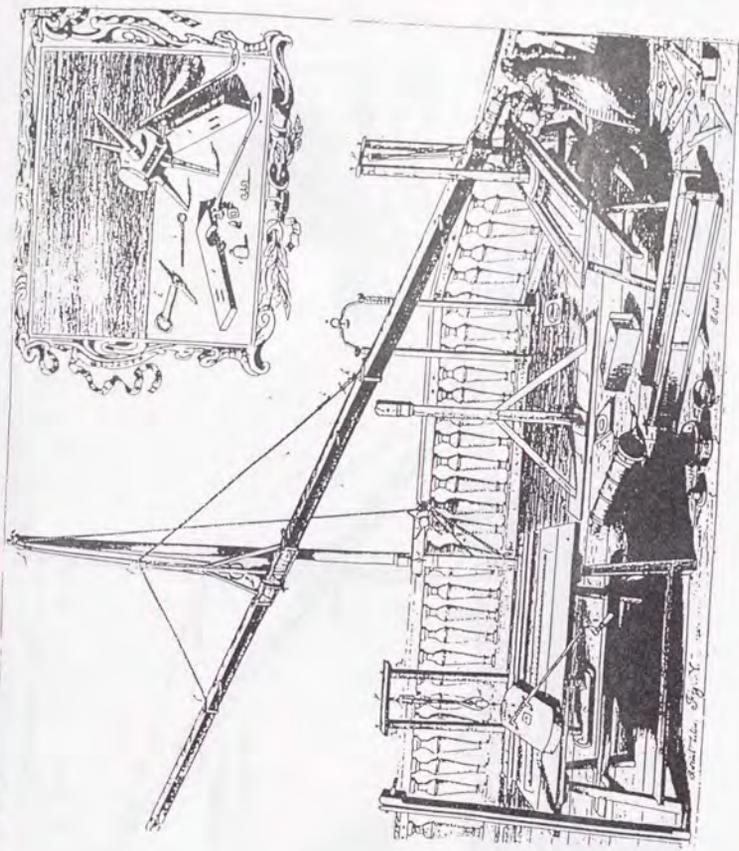
⁸⁵ 1666年4月、オルデンバーグは、ブラッティーニという人物がポーランドで120フィートの長大望遠鏡を作っているという噂を聞き、これが事実かどうかヘヴェリウスに問い合わせた。これに対してヘヴェリウスは、ブラッティーニはイタリア生まれの彼と親しい職人であり、長大レンズに取り組んでいること、その望遠鏡は、まだ成功に至らないことを書き送った。Oldenburg to Hevelius, 30 March, 1666, *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 72-79 (pp. 73 & 76); Hevelius to Oldenburg, 23 June 1666 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 3, pp. 167-172 (pp. 169-170 & 172)。ヘヴェリウスがブラッティーニ製の62フィートと70フィートのレンズを手にしたことは、Hevelius to Oldenburg, 25 June 1670 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 7, p. 48; Hevelius to Oldenburg, 17 August 1670 (O. S.), *Oldenburg Corresp.*, 7, pp. 123-130 (pp. 126 & 129)を見よ。

⁸⁶ Hevelius(1673), p. 392.

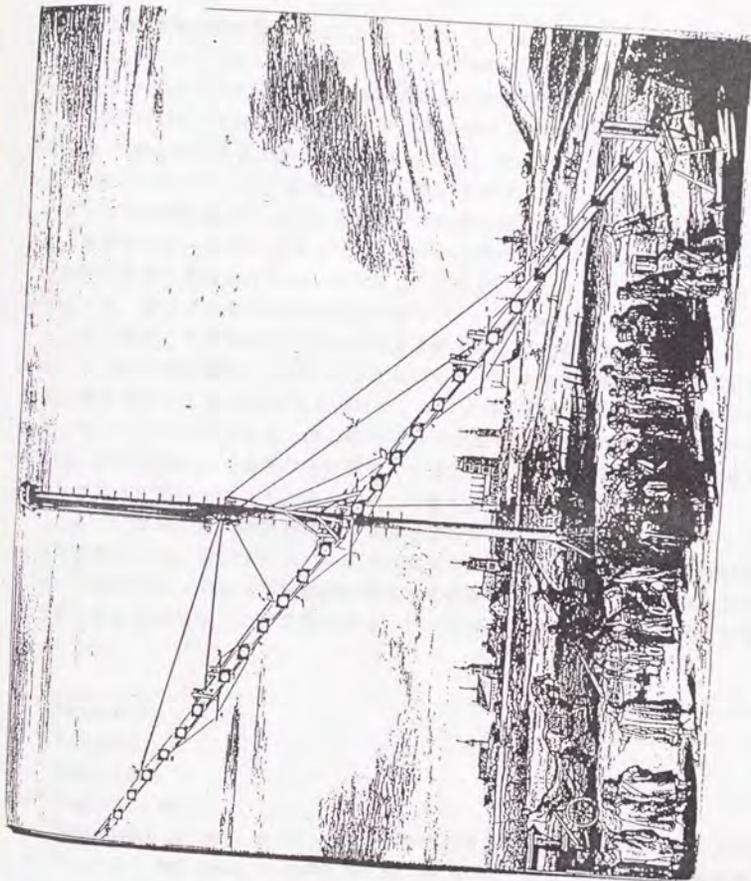
⁸⁷ *Ibid*

⁸⁸ *Ibid*, pp. 405-406.

⁸⁹ *Ibid*, p. 404。この対物レンズは、1672年にブラッティーニがヘヴェリウスに与えた140フィートレンズである可能性が高い。Hevelius to Oldenburg, 31 May 1672, *Oldenburg Corresp.*, 9, pp. 83-86 (pp. 83 & 85)。



第36図 ヘヴェリウスの60フィート望遠鏡
(*Machina coelestis pars prior* より)



第37図 ヘヴェリウスの150フット望遠鏡
(*Machina coelestis pars prior* より)

ないという⁹⁰。このような長い望遠鏡では、筒の左右への曲がりは問題である。ヘヴェリウスは、これを避けるために、望遠鏡の左右三カ所に横棒を据え付け、これと本体を縫うように固定ロープを走らせた⁹¹。この長大な望遠鏡は、町の外に建てられた。それを据え付けた支柱の高さは約90フィートであった⁹²。

フックの望遠鏡短縮の試み

ヘヴェリウスの150フィート望遠鏡は、リーヴやコックの60フィート望遠鏡の2倍以上の長さのものだった。このような非常に長大な望遠鏡は、イギリスでは流行しなかった⁹³。だが大陸では、ヘヴェリウス以外にもこのような試みが見られた。例えば、1684年に土星の新衛星を発見した時、カッシーニは、カンパーニの作った100フィートと136フィートの望遠鏡を用いた。またオズーは、300フィートと600フィートのレンズの作製に成功したという⁹⁴。とはいえ、余りに長大な望遠鏡は、どの程度の実用性があったのか疑わしい。各時代の平均を越える長さの望遠鏡は、実際の観測には余り寄与しなかったのである⁹⁵。だが、これらほど長大な望遠鏡でなくても、長い望遠鏡の操作は容易ではない。

これと関連して興味深いのは、長大望遠鏡をコンパクトにするために、フックがいくつかの提案を行なったことである。その一つは、液体を用いてレンズの焦点距離を見かけ上長くする試みだった。フックはこれを、1665年の『フィロソフィカル・トランザクションズ』のオズーへの回答の中で取り上げた⁹⁶。その詳細は、翌年同誌に、「小さな平凸球面ガラスが、光線を通常よりはるかに速くの距離の焦点に屈折するようにする方法」と題して収録された⁹⁷。

これは、真鍮の筒の両端を平面ガラスと平凸レンズでふさいだものを作り、できた空間に、水、油、アルコールなどの液体を詰めたものである。中に詰める液体の屈折率によってレンズ系全体の屈折率を増減することができるので、見かけ上焦点距離を伸ばすことが可能である。フックは、このような液体を詰めた光学

⁹⁰ Hevelius(1673), p. 417.

⁹¹ *Ibid.*, p. 413.

⁹² *Ibid.*, p. 415.

⁹³ King(1955), p. 62.

⁹⁴ Bendini(1967), p. 399. カッシーニの土星の新衛星発見についてのイギリスでのレポートは、*Phil. Trans.*, 16 (1686), No. 181, pp. 79-84. ただし、この望遠鏡は筒を用いない空中望遠鏡として使用された。

⁹⁵ Helden(1974a), p. 47.

⁹⁶ *Phil. Trans.*, 1 (1665), No. 4, p. 67. フックは、この年の5月29日の王立協会会合でこれを発表した。*Birch* 2, p. 52.

⁹⁷ 'A Method, by Which a Glass of a Small Plano-Convex Sphere May be Made to Refract the Rayes of Light to a Focus of a Far Greater Distance, Than is Usual', *Phil. Trans.*, 1 (1666), No. 12, pp. 202-203.

系を『ミクログラフィア』でも示唆している。それは、顕微鏡の二つのレンズの間に、水などを満たしたものであった⁹⁸。

フックのもう一つの工夫は、鏡の反射を用いて光路を折り畳んだ望遠鏡であった(第38図)。フックがこのような工夫を最初に提案したのは、1667年2月28日の王立協会会合においてであった⁹⁹。彼は翌月に同様の装置についての発表を行なったが、これは27フィートの長さで普通の6フィートの望遠鏡の役割をするものだった¹⁰⁰。同種の装置は、6月6日の会合でも話題となった。この時フックは、このような望遠鏡を用いれば、手軽な太陽望遠鏡(ヘリオスコープ)を作ることのできるのではないかと述べた¹⁰¹。反射鏡の光の反射率が低ければ、反射を繰り返すうちに太陽光は減衰し、肉眼で見ることが出来る程度の明るさとなる。フックは、これらをまとめて1675年1月28日の王立協会会合で読み上げた¹⁰²。これは翌年に、カトラー講義の一つ、『太陽望遠鏡および他のいくつかの装置についての記述』(以下再び『太陽望遠鏡について』と略す)としてロンドンで出版された。

フックはここで、太陽を見る術として、色付きのガラスを利用する方法、ランプのガラスの付いたガラスを用いる方法、太陽の像を望遠鏡で投射する方法、レンズの口径を小さくする方法、レンズで像を拡大する方法などがあると述べた。それらの欠点として、フックは色付きガラスやスズを用いた場合、像に色が付いたり像の鮮明度が失われることを挙げた。投射による方法も、拡大率が十分ではなく、コントラストに問題がある。最悪なのは、レンズの口径を小さくして光の量を制限することであるという。こうすると、像に凸凹ができてしまう¹⁰³。一番良いのは、像を拡大することだが、これには像に虹が発生する問題がある¹⁰⁴。

フックの太陽望遠鏡は、これらの問題を考慮して提案された。使用される反射鏡は、黒ガラスや黒い大理石など、反射の少ないものを用いる¹⁰⁵。もし、水銀を裏に張り付けたガラスの鏡を使えば、これは望遠鏡として使用できる。この場合には、ガラス表面での散乱光が問題である。だが、この問題は、平面ガラスで

⁹⁸ *Micrographia*, sig. f2r.

⁹⁹ *Birch*, 2, p. 152. *Waller*, p. xiii は、これをフックの反射式望遠鏡の試みとしているが、今日の意味での反射式望遠鏡ではない。

¹⁰⁰ *Birch*, 2, p. 158.

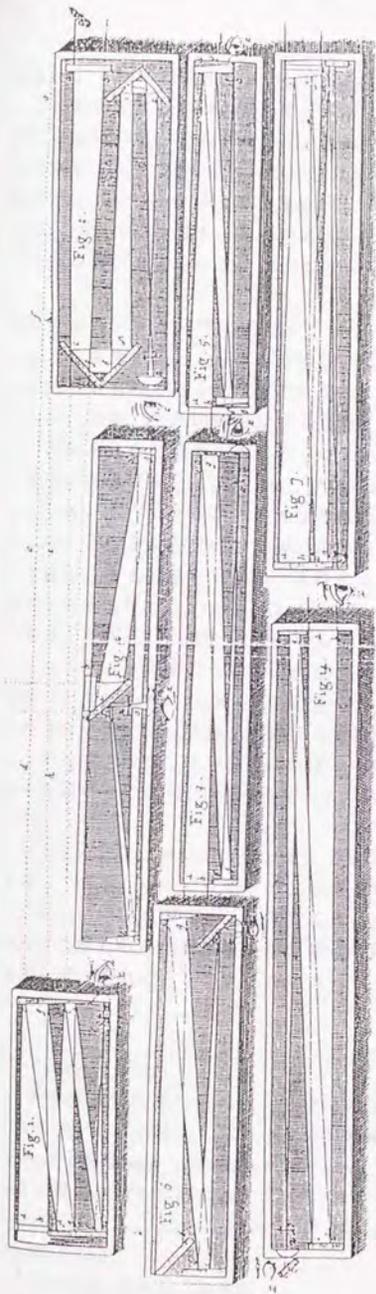
¹⁰¹ *Birch*, 2, p. 180.

¹⁰² *Birch*, 3, p. 179.

¹⁰³ この現象は、実は光の回折による。フックは、後に論ずる *Animadversions* の中で、回折に相当する現象に言及した。 *Gunther*, 8, p. 71.

¹⁰⁴ *Gunther*, 8, pp. 123-124.

¹⁰⁵ シンプソンは、フックが日記で記述した月面観測用の 'Selenoscope' は、'Helioscope' を応用したものであると想定している。 *Simpson*(1989), p. 56; *Diary* 1672-80, p. 206 (1676年1月1日)。



第38図 光路を折り畳んで望遠鏡の筒を短くするフックの工夫
 (「太陽望遠鏡について」、Table 1より)

はなく、くさび型のガラスを使用することで防止することができる¹⁰⁶。

この本の中には、ユニバーサル・ジョイントや、天文観測を精密に行なうための工夫も現れる。これについては次章で扱うが、興味深いのは、フックがこの本の付録として、1675年1月1日の月蝕の観測を収めたことである。これまでの研究では、フックの『太陽望遠鏡について』の意義が論じられることはなかった。この本は、この付録からも分かるように、フックの望遠鏡の改良と、これを用いた天文観測の文脈の中で、初めて正しく捉えることができる。

フックとガリレオ・パラダイム

以上の議論から、フックの望遠鏡研究は、「ガリレオ・パラダイム」の第二期に対応するものであったことが分かる。すなわち、フックは、長大望遠鏡を用いて、月、太陽、惑星の細部などの観測を行なった。『ミクログラフィア』の中には、月面誌にあたるものも収められていた。月面誌は、ヘヴェリウスやレンも取り組んだ課題だった。フックは、長大望遠鏡を使用し、その改良に関心を払った。フックは、ヘヴェリウスに長大望遠鏡の設置方法を示唆した人物だった。フックのこのような天文研究は、前章で論じたゴダード、ニール、レンらの望遠鏡への取り組み、あるいは、ホイヘンスのイギリスでの活動を考えれば、ごく自然に理解できるものである。フックは、彼に先立つイギリスの「ガリレオ・パラダイム」の延長上に現れた人物だったのである。

私たちは、フックの名前を耳にすると、彼のバネの法則や、顕微鏡観察を思い浮かべがちである。しかし、このようにフックは、天文学者としての側面を色濃く持っていた。フックは、周囲からも天文学に取り組んでいる人物と思われていた。例えば、ヘヴェリウスとオルデンバーグは、書簡でたびたびフックの天文観測を話題にした¹⁰⁷。オズーもまた、フックの木星観測に関心を示した一人であった¹⁰⁸。

だがフックは、単に「ガリレオ・パラダイム」を引き継いだだけではなかった。彼は、「ガリレオ・パラダイム」の第二期に現れた、このパラダイム自体を突き破る新しい潮流を体現する人物でもあった。次章で論じるように、彼は、望遠鏡の周辺に使われる精密観測器機の地位の確立のために議論を行ない、自らも精密観測を試みたのであった。

¹⁰⁶ Gunther, 8, p. 125.

¹⁰⁷ 例えば、先に述べたヘヴェリウスのフックの惑星観測に対する関心。また、オルデンバーグが送付したフックの月蝕観測データなど。これは、Oldenburg to Hevelius, 9 November 1671, *Oldenburg Corresp.*, 8, pp. 349–353 (pp. 350 & 352) を見よ。フックが健康を害した際には、オルデンバーグは、それが原因でカッシーニの土星の新衛星を見ることができないと書き送った。Oldenburg Corresp., 10, pp. 181–184 (pp. 182 & 184).

¹⁰⁸ Oldenburg Corresp., 2, p. 425.