

明末の中国に伝えられた「科学革命」の成果

橋 本 敬 造

1. 宇宙論・運動論・運行論
2. 精度の議論と望遠鏡の評価
3. 観測機器の紹介と製作

崇禎年間（1628—1644）、徐光啓（1562—1633）によって組織された中国人科学者 および 宣教師科学者らによって中国に導入された天文学の内容は、万暦年間（1573—1620）、利瑪竇（マテオ・リッチ、1552—1610）らが中国に紹介したものと大きな差違があった。初期の科学知識は主としてアリストテレス的自然学に基づくものであったのに対して、『崇禎曆書』を構成した主要な部分は、当時のヨーロッパで進行していた科学革命の諸段階における成果を反映したものであった。しかも、それを導入した中国側の組織は、リッチが生存していたときとは対照的に積極的な計画のもとに形成されたものであり、科学的内容のみならず導入の体制という点からも大きな転換が見られたのである¹⁾。

1. 宇宙論・運動論・運行論

この転換期においては、実はローマにおいても新しい科学的結果に対する対応の仕方に重要な変化が起きていた。その変化を特徴づける最も深刻なものの一つとして、アリストテレスの宇宙観にはこれ以上固執できないという見解がイエズス会科学者のなかにも見られたという事実が指摘できよう。もちろん、コペルニクス説への転換が来たというのではなく、事実はその逆であったが、しかし、アリストテレス-プトレマイオス説からコペルニクス説への一段階として²⁾、ティコ・ブラーエの宇宙体系が取りあげられたのである。このことは、とりわけ中国に対する影響から考えると、きわめて重大な出来事であったといえる。

ガリレオの望遠鏡による天文学上の新発見によって、ローマにおけるイエズス会の天文学者らにとってさえ、プトレマイオス説はもはや役立たない理論になっていた。1612年に死亡したコレジオ・ロマーノの数学教授クリストファー・クラヴィウスも、1611年にはこのことを認めてい

1) 導入の組織の問題については、すでに論じた。

拙稿『『崇禎曆書』の成立と「科学革命」』、関西大学『社会学部紀要』12-2, 1981, 67-84参照。

2) J. J. Langford, *Galileo, Science and the Church*, Univ. of Michigan Press, 1966, p. 81, n2.

た³⁾。しかし、さらに 決定的なコペルニクス説の証明がなされなければ、地球中心説を否定することはできない。そこでコペルニクス説への移行的な措置とし、ティコ・ブラーエの体系を採用すべきだとしたのだという主張がなされているのである⁴⁾。

ティコの体系 Tychonic System は、ガリレオが『星界よりの報告』*Siderius Nuncius* (1610) に記述した金星の位相の変化の現象の説明なども可能にする。少なくとも1610年代になってからの望遠鏡による観測事実と矛盾しないもののだとして重視されるようになったと考えられる。

ティコ・ブラーエの体系は、1577年の彗星の運行の観測、および火星の衝の位置が太陽までの距離よりも近いという1582年11月から翌年4月までの観測を考慮して作られたものであった。その説では天球は互に切断しあっており、アリストテレスの宇宙の否定を前提としたものであった。この宇宙構造に関する議論は、『崇禎暦書』の『五緯曆指』の巻1にも反映されている。すなわち、そこに図解された「七政序次新図」はティコ・ブラーエの体系を描いたものになっているが⁵⁾、同時に「七政序次古図」を図解して⁶⁾、すでにマテオ・リッチによって中国へも『乾坤体義』(1605年刊)として紹介されていたアリストテレスの宇宙もあわせて説明しているのである。

運動の原因に関する議論では、同じく『五緯曆指』巻1において、ケプラーの考え方が紹介されている。ケプラーは、『宇宙誌の神秘』*Mysterium Cosmographicum* (1596年)において、太陽のなかに *anima motrix* が存在し、それが太陽から放射されて惑星に作用し、惑星を動かすのだと考えた。W・ギルバートの『磁石について』*De Magnete* (1600年)が出版される前年からは、かれは磁気に関心をもち⁷⁾、『新天文学』*Astronomia Nova* (1609年)において論じられているように、惑星は太陽の磁気によって駆動されると考えた。磁気に似た力が宇宙に存在し、それによって天体の運動が惹起されるとしたケプラーは、さらに『コペルニクス天文学摘要』*Epitome* (1620年)では、太陽を球状の磁石に見たて、その中心に一つの極があり、他極は球面上に分布しているとした。他方、惑星は固定軸を有する棒磁石だと想定したのである。『新天文学』に説明されているところによれば、切線方向の運動は、回転する太陽から放射された磁気が惑星を掃くように作用するトルクによって生じると説かれているのである⁸⁾。

『崇禎暦書』では、*anima motrix* は「能動之力」、および『新天文学』の議論は「磁石」と「鉄」の関係として翻訳されて、天体の運動のメカニズムが説明されている。すなわち、天体の

3) J.L.E. Dreyer, *Tycho Brahe—A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century*, 1890, repr. by Peter Smith Publisher, Gloucester, Mass., 1977, p. 81; —, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover ed., New York, 1953, p. 414. Cf. J. Kepler, *Epitome*, in *Opera*, VI, p. 117.

4) Langford, *op. cit.*

5) 『五緯曆指』巻1, 五葉裏(この葉数は、『四庫全書珍本四集』所収の『新法算書』による。筆者は、別に京大人文科研蔵の『西洋新法曆書』を参照した)。

6) 同, 五葉表。

7) Dreyer, *History of Astronomy*, p. 394.

8) G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought. Kepler to Einstein*, Harvard Univ. Press, 1973, p. 75.

運動は「すべて太陽のなかにある能動の力によって惹かれる」（皆繇一能動之力，此能力在太陽之体中也）と書き⁹⁾，また「太陽と諸惑星の関係は，磁石と鉄のそのようなものであって，その動きにしたがって運行せざるを得ない」（又曰，太陽于諸星，如磁石于鉄，不得不順其行）と述べて¹⁰⁾，ケプラーの考えた運動の原因が紹介されたのである。

天体の運行の理論 kinetics については，(1)プトレマイオスの離心円と周転円を用いた理論，(2)コペルニクス，および(3)ティコ・ブラーエの周転円のみを用いた理論，さらに(4)「ティコとコペルニクスの總法」（第谷及歌白泥總法）が示されている¹¹⁾。これら四通りの理論は，いずれも『五緯曆指』巻1に収録されており，外惑星三星（「上三星」）の運行の総論の部分に収められているのである。

第一の古代のプトレマイオス（「多祿某」）の理論には，離心円（「不同心圈」）とエカント円（「大均圈」）を用いた図解が見られるが，第二のコペルニクスの方法とされているものには「歌白泥不用大均圈」と説明されていて，かれがエカント円を廃止したという事実が強調されているにもかかわらず，太陽中心説にかかわる記述がない点が注目に値する。第三のティコの運行論では，離心円を用いないで，周転円のみを組合せる方法が示されている。最後の「第谷及歌白泥總法」は，「太陽を五惑星の運行の中心とする」（以太陽爲五緯行之心）という点を強調したものであって，これこそティコの本来の方法（「第谷本法」）であるとされている。コペルニクスが宇宙の中心に太陽を置いたという宇宙論上の意味は，五惑星の運行の中心を太陽とするという運行論の蔭に隠れてしまい，コペルニクス説とティコの体系の本質的な相違に触れていないのが『五緯曆指』の特徴である。これら外惑星の運行論は，主としてかれの *De Marte* (1585年) にもとづいたものである¹²⁾。『五緯曆指』巻4では，ティコが20年間にわたって火星の観測を続けたことに言及がなされ，その観測に基づいて「かれの門人」のケプラー（「格白爾」）が『火星行図』の一部分5巻72章を書いたという趣旨のことが記述されている。この書はケプラーの *De Stella Martis* を指していると思われる。この段階では，ケプラーはエフェメニデスを作成していなかったが，A・マギーニ（紹介された漢名は馬日諾）らが天体暦を作り，それが全面的に利用できるようになったと述べられているのである¹³⁾。中国において『五緯指曆』第四巻が完成したときには，すでにケプラーの手になる『ルドルフ表』*Tabulae Rudolphinae* (1627) の少なくとも一部分は利用できる状態になっていたはずであるが¹⁴⁾，その本文中には直接この事実に触れた場所はない。

9) 『五緯曆指』巻1，六葉表。

10) 同，三十三葉表。

11) 『五緯曆指』巻1，「上三星歳行説」，三十一葉表—三十三葉表。

12) *Tychonis Brahe Opera Omnia*, Tom. V (1923) 所収。

13) 『五緯曆指』巻4，一葉裏。

14) P. M. D' Elia, *Galileo in China: Relations through the Roman College between Galileo and the Jesuit Scientist-Missionaries* (1610—1640), tr. R. Suter and M. Sciascia, Harvard Univ. Press, 1960; p. 33.

金星の運行を説明したところには、金星天は太陽をもって中心とする（「金星天以太陽爲心」）というティコの体系に基いた図解が施されており、しかもそれがガリレオが望遠鏡（「遠鏡」）を用いて観測した位相の変化を示したものとなっている。月が地球のまわりを回ることによって位相の変化が生じるように、金星は太陽のまわりを回るから、望遠鏡で見ると位相が生じるのだと書き、続いて「考えてみるのに古図（プトレマイオスの体系図）では、その理由を分析することはできず、千、百世代を経ても、その根本のところは透視することはできなかった」（按古図不析其理，雖千百世，不能透其根也）と書く¹⁵⁾。こうしたティコの新しい理論を信頼した記述は、すでに述べた通り、宇宙観にかかわるクラヴィウスの見解の変化に対応したイエズス会科学者の考え方を示したものであり、中国に渡来して『五緯曆指』を含む『崇禎曆書』の編纂に参加した宣教師のシュレック（改名してテレンツ，スイス人，中国名は鄧玉函），ジャズブズ・ロー（羅雅谷），アダム・シャル・フォン・ベル（湯若望）らがとっていた立場を明確に示したものであったと評価できよう。

順序は逆になったが、月の運行に関するティコの理論は、特に注目に値する。ティコは月の運行の第2不等、つまりエヴェクション *evection*（出差）までしか扱わなかったプトレマイオスの理論に対して、第3の不等、つまりヴァリエーション *variation*（二均差）とよばれる不規則量を、アラビアの天文学者アブル・ウェファとは独立に発見したことでよく知られている。それは、かれがウィッテンベルクへ向った1598年までに発見されたものである。

月に対する誘導円（半径を1とする）の中心を地球をのせた小円（半径は0.02174）の上に置くことによって、経度方向の運動は5，6分の誤差を残して説明できる。ティコは、月の誘導円の中心は朔と望のときに地球の位置と一致し、上・下弦のときに地球から最も離れるように工夫した。かれは、さらに半径が0.058と0.029の二つの周転円を使用し、前者の周期はアノマリ月に一致し、後者のその2倍の速さで反対方向に回転するものとした。こうすると、近地点のときは月は0.029だけ誘導円の外側に、また遠地点のときは0.087だけ内側にくることになる。これら二つの周転円の効果として、最大4度59分30秒の第1不等が説明でき、中心に設けた小円によって1度14分45秒の第2不等も説明できて、プトレマイオスの理論よりも正確になった。

こうした月の運行の理論は、『月離曆指』巻2のなかで論じられており、それをコペルニクスの理論と組合せた説明図があげられている（図1参照。破線がティコの理論）。

月の緯度方向の運行については、ティコの「緯度の法則」がやはり忠実に紹介されている。すなわち、『月離曆指』巻2，論交行にこの問題が論じられているのである。これは月の軌道である白道の黄道に対する傾斜角が朔と望のときと、上・下弦のときとは変化することを明らかにした法則であった¹⁷⁾。すなわち、傾斜角は、最小値の4度58分30秒と最大値5度17分30秒のあい

15) 『五緯曆指』巻5，三葉表。

17) V. E. Thoren, "An Early Instance of Deductive Discovery: Tycho Brahe's Lunar Theory," *Isis*, vol. 58, no. 191, 1967: 19—36参照。

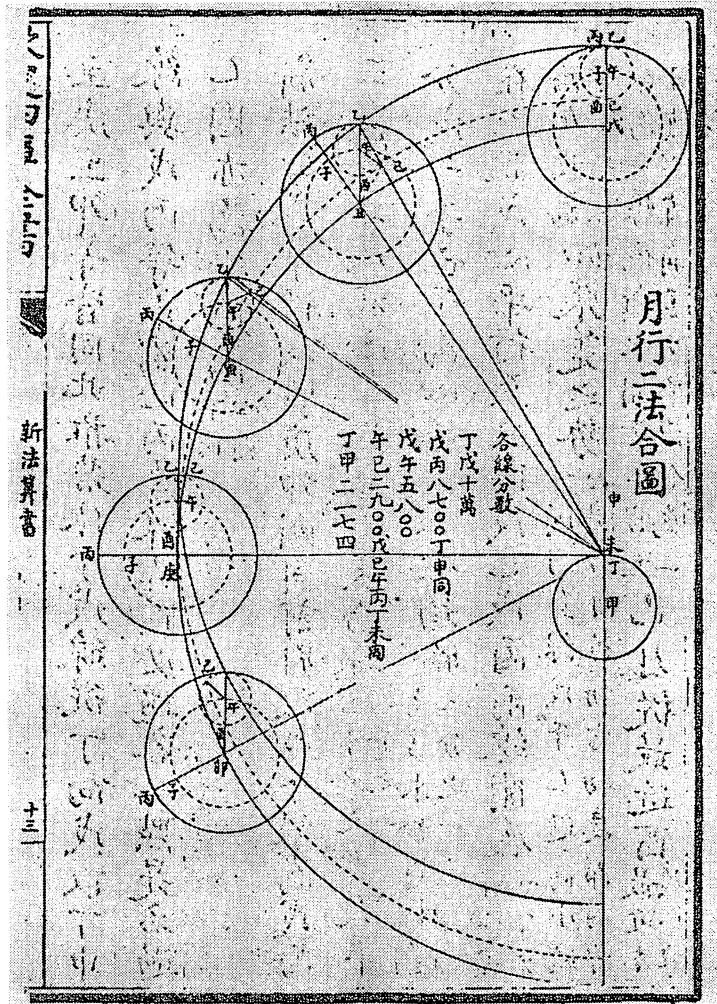
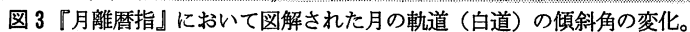


図1『月離曆指』に紹介されたティコ・ブラーエの月の運行モデル。



図2 月の軌道の傾斜角を変化させるためのメカニズム。
(V.E. Thoren, *Isis*, 58—191, p. 32より)。



『月離曆指』巻2に示された図の説明によれば、庚と癸の距離を「兩交相距」とし、その最大値を「大数」、最小値を「小数」とし、平均値を「中数」すなわち5度08分としている。この平均値が従来の黄白道傾斜角であった。最大値と最小値の差は19分になっており、したがって、さきの小円の半径の2倍に等しい。この円は半月間（1朔望月の半分）に1周するとされた。こう

して一般的には、図2に転載したように説明できるのである¹⁸⁾。

天体の運行論のなかで特に興味があるのは、ヴィエタ Viète（漢訳名は未葉大）の理論への論及である。ヴィエタは、天文学の数学的な取り扱いという点でコペルニクスを評価せず、天体の排列という点ではティコ・ブラーエと同じ方法を採用した。すなわち、かれのモデルは、平均太陽の位置をティコと同じ点にとり、それを中心にして惑星が究極的には楕円形を描いて動くという幾何学的なモデルであった。ヴィエタの理論は幾何学の範囲を出ないものと評価されているが¹⁹⁾、ケプラーに先立って楕円法を局所的に論じたものであった。

このヴィエタが展開した楕円論は、ケプラーの楕円法を全面的に導入した『暦象考成後編』よりも1世紀も早い時代に出た『西法暦伝』のなかで紹介されている。この『西法暦伝』1巻は、アダム・シャルが『崇禎暦書』を『西洋新法暦書』（1645年）と改名して出版した段階で収録されたものであるが、この書は、ヨーロッパ天文学の発達の簡史となっている。アダム・シャルの議論は天文学の数学的取扱いの発展に力点がおかれている。かれは、シモン・ステヴィン（「西満」）の『天体運動論』（1605年）がプトレマイオスとコペルニクスの両説が同等である（「有西満者。嘗証多祿某・歌白泥両家之法惟一」）と論じた個所を紹介し²⁰⁾、コペルニクス説が他の天文学的な改良と同じであるかのように評価しようとしている。また、A・マギーニ（「麻日諾」）のエフェメニデスは、コペルニクス説を前提にしたものではあるが、アダム・シャルは幾何学上の理論という点からは（プトレマイオス説と）同じものであると断じている。

『西法暦伝』においては、離心円と周転円を組合せるという従来の推算法における難点を除去するために、ヴィエタが「ここで改めて蛋形図を創出して、天文学の根本を解いた」（于是，更創蛋形図，以解天文之根本）として²¹⁾、高い評価が与えられている。楕円は、ここでは蛋形と訳出されている。他方、コペルニクスに対しては、「円によって天の動きを解いた」（天動以円解）とされている²²⁾。コペルニクスの評価に比べて、ヴィエタの新しい数学的方法の導入の方が高く評価されている点が注目に値しよう。このような形で楕円論への論及がなされているのは、当時のヨーロッパにおける天文学の展開から見て無視できない理論的テーマであったからであり、ヴィエタが楕円を天文学に導入したのはケプラーよりも早かったという事実のためであろう²³⁾。

18) 『月離曆指』巻2、二十六葉裏に図解されている。説明図は Thoren の論文より。

19) N. M. Swerdlow, "The Planetary Theory of François Viète 1. The Fundamental Planetary Models," *Journal for the History of Astronomy*, vol. 6, 1975: 185-208.

20) 『西法暦伝』八葉裏。

21) 『西法暦伝』九葉表。

22) 同 八葉表。

23) ヴィエタは楕円法を *Ad Harmonicon Coeleste* において導入した (Cf. N. M. Swerdlow, "The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: Translation of the *Commetariolus* with Commentary", *Proc. Amer. Phil. Soc.*, vol. 117, No. 6; 423-512).

2. 精度の議論と望遠鏡の評価

以上に述べたような理論上の諸問題に対して、観測についてはティコ・ブラーエが得た精度の高い結果が高く評価されている。『西法暦伝』においては、かれが40年にわたって天文学上の研究を行ない、特に「種々の精巧な器械を準備して、分秒の誤りもない天体の位置の観測をなした」（備諸巧器，以測天度，不爽分秒）ことが強調されている²⁴⁾。ケプラーは、楕円法則の導入にあたってティコの観測誤差は4分以内だと評価していたと考えてよからう²⁵⁾。しかし、後述するように、最近の研究によれば、ティコの主要な観測機械の平均誤差は、32秒から48秒のあいだであったという報告がなされているのである²⁶⁾。

アダム・シャルルの西洋天文学の動向の把握は、1600年前後の事情をよく反映したものといえよう。ガリレオ（「加利勒阿」）の望遠鏡による新発見については、「千古の星学のいまだ発せざるところを発す」（発千古星学之所未発）と書いて²⁷⁾、ヨーロッパにおける急激な観測天文学上の展開を紹介している。

観測という点では、崇禎年間の改暦事業において製作すべき天文儀器をめぐる議論はとりわけ重要な意味があった。この事業の開始にあたって、徐光啓は観測の重要性と器械の製作・整備の緊急性を強調していた。それを具体化するための予算的措置は、崇禎改暦の開始の年にあわせて実現された（崇禎二年九月二十三日付「奉旨修改曆法開列事宜乞裁疏」）²⁸⁾。徐光啓は、この改暦において解決されるべき観測上の問題点を10項目にわたってあげ、緊急に整備しなくてはならない儀器を10項目にわたって指摘していた（崇禎二年七月二十六日付「條議曆法修正歲差疏」）²⁹⁾。それらは次の通りである。

(1)七政象限大儀（大型四分儀），6座，(2)列宿紀限大儀（大型六分儀），3座，(3)平渾懸儀，3架，(4)交食儀，1具，(5)列宿經緯天球儀，1架，(6)萬国經緯地球儀，1架，(7)節氣時刻平面日晷，3具，(8)節氣時刻転盤星晷，3具，(9)候時鐘（時計），3架，(10)測候七政交食遠鏡（望遠鏡），3架。

ここに掲げた最後の項目は望遠鏡であるが、「望遠鏡」という名称は、前述の崇禎2年（1629）九月二十三日付の徐光啓の文章にはじめてあらわれる³⁰⁾。それまでエマヌエル・ディアス（陽瑪諾）が『天文略』（1615年）においてガリレオの諸発見を紹介して以来、「遠鏡」という名称が普通であり、アダム・シャルと徐光啓の手になる『遠鏡説』（1626年）でもこの名称が採用されていた。『天文略』は、のちに李之藻によって『天学初函』器編（1628年，杭州）に収められたが、その書の最後の部分に「近世の西洋の曆法に精なる一名士」，すなわちガリレオが月，

24) 『西法暦伝』，九葉表。

25) Dreyer, *History of Astronomy*, p. 392.

26) W.G. Wesley, "The Accuracy of Tycho Brahe's Instruments", *Journal for the History of Astronomy*, ix, 1978; 42—53. —, "Tycho Brahe's Solar Observations", *JHA*, X, 1979; 46—101.

27) 『西法暦伝』十二葉表。

28) 王重民輯校『徐光啓集』（上海，1963），巻7「治曆疏稿」1，339—342頁。

29) 同上，332—339頁。

30) 註（28）参照。

金星、土星、木星の衛星、天の川などを観測した結果についての紹介がなされているのである。その内容は『星界よりの報告』（1610年）の概要になっていると考えてよい。これらの諸発見のニュースの中国への伝達は、当時としては驚くべき速さであった。

ガリレオの発見の詳しい内容と「ティコの体系による」説明、および望遠鏡の説明、その光学的原理などは『遠鏡説』に見られるが、それとは別に望遠鏡の原理や製作法などについては、鄧玉函と王徵によって出版された『西洋奇器図説』（1627年）において詳細に論じられた。

J・ローは『五緯曆指』のなかで望遠鏡は肉眼の限界を打ち破ったものであり、その能力を拡大したものであるとして、望遠鏡が出現して天文学に新発見をもたらした、大きな展開をもたらしたことを積極的に評価した。さらに、ローはアリストテレスの宇宙の否定が新しい観測によって得られた結果によるものであれば、それはやむを得ないことであり、いたずらに古代の権威に逆うことにはならないのだとして、『五緯曆指』巻1において次のように書いている。

「問う。むかしの人は、天は堅固で実体があり、（しかも）透明であるといっていたのに、新しい理論だと、火星の（誘導）円が太陽のそれを切っている。これは明らかに古代の権威が立てた理論を否定することになりはしないのか。

答え。むかしから常に（天文学の）根本は、観測によって天空の動きを追って理論をつくることであった。もし立てられた理論がほんとうに精密な観測から得られた結果とほとんどかけ離れていないというのなら、それは正しいものである。そうでなければ、どうして古え（の理論）に拘泥して天の動きの方を無視できよう。というのは、一般に古代の観測はかえって粗雑であるからである。また、肉眼で観測したところを基準にすれば、（昔のものであればあるほど）いっそう精度は悪く、新しい観測は古代のそれに比べると十倍も正確である。さらに望遠鏡をもって基準にすると百倍以上も精密になる。したがって、古えを捨てて今に従うというのは、べつに自らを一段と聰明なものだとし、不当に既存の知識にたがうということを意味しない³¹⁾。」

この問答の答えの冒頭の部分は、『漢書』『律曆志』上に述べられた、「曆法の理論を検証すべき証拠は天の現象にある」（曆本之驗在於天）という考え方と類似しており³²⁾、また、全体としてこの改曆事業を指導した徐光啓の、粗より密へという曆法進化論に基く天文学史にのっとっていると考えられる³³⁾。崇禎改曆においてティコ・ブラーエの観測と理論を採用したことについては、西洋天文学の精度が高くなった段階の結果を選択したという点を強調し、この選択を正当化する論理構造になっているといえる。望遠鏡の登場によるコペルニクス宇宙説の傍証という問題は考慮の外に置かれ、何より観測の精度が飛躍的に上昇したという側面がクローズ・アップされ

31) 『五緯曆指』巻一、六葉裏。

32) この『漢書』『律曆志』と類似した表現は、『西法曆伝』三十五葉裏に見える。すなわち、ヨーロッパ天文学史について、「西曆家、創法之初、審之于天、以求其當然、成法之後、復考之于天、以証其必然。…」と書かれているのである。

33) 註(1)所掲論文参照。

た議論になっているのである。

J・ローが書いた文脈は、アダム・シャルが『西法暦伝』に書いた一節「新法は、一人の手だけで作られた方法ではなく、新たに創り出された方法でもなく」(新法、非一人之法、非近創之法)³⁴⁾、古くからの思索と改訂を経て、漸次、得られたものであって、ある人物の一時的な臆説によるものではないという主張と一致していると考えべきである。ここに徐光啓を助けた宣教師科学者グループの明確な天文学の発達史観がうかがえるのである。

ローやアダム・シャルに対して、当初のみ改暦事業に参加したロンゴバルディ(龍華民)は、たとえば『地震解』(1626年)のなかにおいて、アリストテレスの威権を随所で強調し、また、アリストテレスの論理学・自然学の本格的な紹介者として知られるフルタード(傅汎際)は、『寰有詮』(1628年)において、新しい望遠鏡の発見を評価しようとせず、むしろ既成の権威的知識の方こそ尊重すべきであるとしたことは、よく知られている事実である³⁵⁾。フルタードの立場の方こそ、当時のヨーロッパの一般的な自然学の常識を伝えているといえるかもしれないが、かれと崇禎改暦に参加した宣教師たちの考え方とのあいだには実に大きなギャップが存在したことは明らかである。

3. 観測機器の紹介と製作

観測の精度を高めるために崇禎年間に導入された方法として注目すべきものに、ティコ・ブラーエの度以下の単位を目盛りを読みとる工夫がある。ティコは10分以下の目盛りについて、図3のように一つのドットが1分に対応するようにした。これは副尺の登場に先行した方法であり、ティコの主張によれば、コペルニクスの場合には誤差が15分から20分にのぼったものが、10秒以内あるいはせいぜい20秒以内に収まるようになったのだという³⁶⁾。

のちの清代に出版されたF・フェルビースト(南懷仁)の『靈台儀象志図』(1673年)の第14、15図には、さらに正確な図解がなされるが、『崇禎曆書』所収の『測量全義』第10巻の「分法」にティコの目盛り法が紹介されている。いずれもドットではなくて、直線によって結ばれているのであるが、原理は同等である(図4参照)。当時製作された儀器は、実際この目盛り法を残している。ティコはまた、この目盛り板の上をスライドする窺表を工夫したが、これについても同書の第10巻の「窺法」のところで論じられている³⁷⁾。

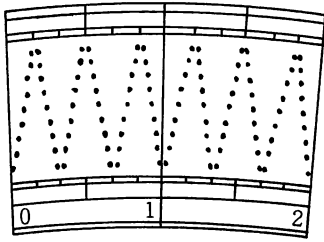
前節において列挙した観測儀については、『崇禎曆書』の『渾天儀説』5巻や『測量全義』な

34) 『西法暦伝』一葉裏。

35) フルタードの望遠鏡による観測に対する評価については、W. J. Peterson, "Western Natural Philosophy published in Late Ming China", *Proc. Amer. Phil. Soc.*, Vol. 117, No. 4; 295-322, p. 314を参照。

36) *Astronomiae Instauratae Progymnasmata* (Tychonis Brahe Dani Opera Omnia, Tom. II, ed. I. L. E. Dreyer, 1915); cf. Dreyer, *Tycho Brahe*, p. 334.

37) 元の授時暦制定(1281年)のときにつくられた巨大日晷(「高表」)の測定には、ピン・ホール・カメラの原理を利用した「景符」が用いられたことを想起すべきである。



TRANSVERSAL DIVISIONS.

図4 ティコ・ブラーエの目盛り法
(Dreyer, *Tycho Brahe*,
p. 331より)。

どで論じられている。特に『測量全義』第10巻は、ティコ・ブラーエが自らの観測のために用意した儀器についての紹介を付している。すなわち「西史第谷所用儀器總目」がそれであるが、その内容は、(1) 測高象限、計6式、(2) 黄赤道経緯度儀、計4式、(3) 渾球大儀、計1式となっている。いずれも1598年に完成した *Astronomia Instauratae Mechanica* に基づくところのものである。(1) は象限儀 Quadrant であり、(2) は円環式の渾天儀 Armillary Sphere、(3) は天球儀 Globus Magnus Orichalcicus (*Mechanica*, p. 102) であ



図5『崇禎曆書』の『測量全義』に見られるティコの目盛り法の図解。(『欽定四庫全書』所収『新法算書』より)

る³⁸⁾。ここに紀限儀、すなわち六分儀 Sextant はあげられていないが、ティコは、特に 恒星の位置観測のために六分儀を用い、太陽・月・惑星（これらを総称して「七政」という）の観測のための四分儀とともに重視した。かれは赤道式のアーミラリー Armillae Aequatoriae (p. 56, p. 60, p. 64) を利用して、この種のものを三式作り、その他に黄道式のもの Armillae Zodiacales (p. 52) も保存していた。これらのなかにティコが最も精度が高いと考えていた大型赤道儀 Armillae Aequatoriae Maximae (p. 64) があった。四分儀のうち 台牆固定式のもの Mural Quadrant (p. 28) は、18世紀末に至るまで最も重要な観測器になったものである。他方、方位が変えられる高度測定用の四分儀 (p. 32) は 4 架ばかり作製されたが、最大のものは正方形の枠のなかに取付けられたもの (Quadrans Magnus Chalibeus, p. 36) であった。

ティコが *Mechanica* のなかで論じている 観測儀のうち、次のようなものが『崇禎暦書』において説明され図解されている。

プトレマイオスが造ったものとして『測量全義』第10巻の「儀器図説」にあがっているのが高度を測るための古三直游儀 (Parallaticum, p. 45) と太陽・月・惑星の経緯度を測るための古六環儀 (Armillary Sphere) である。これとは別に古象運全儀と古弧矢儀がある。弧矢新儀は「新儀器解」のところで図解されている。「新儀器解」には、上述の窺法、分法に続いて、(1) 新法測高儀、合計 6 式、(2) 新法地平経緯儀、1 式、(3) 新法距度儀、合計 3 式、(4) 新法赤道経緯儀、合計 2 式、(5) 新法黄道経緯儀、1 式の構造と用法について論じられている。(1)のなかには、(a) 象限懸儀 (Quadrans Maximus, *Mechanica*, p. 88), (b) 平面懸儀, (c) 象限立運儀 (Quadrans Volubilis Azimuthalis, 同, p. 32), (d) 象限座正儀 (たぶん Quadrans Minor Orichalcicus, p. 12であろうが未詳), (e) 象限大儀 (Quadrans Muralis, p. 28), (f) 三直游儀 (p. 44 ないし p. 48) が含まれる。(2) は四分儀であって、*Mechanica* の Quadrans Mediocris Orichalcicus (p. 16) ないし Quadrans Alius Orichalcicus (p. 20) が対応するであろう。

(3)の新法距度儀には、まず (a) 弧矢新儀があがっている。『五緯曆指』第 9 巻の「測五星儀目」によれば六分弧を用いた構造になっているが、『測量全義』のこの個所の図解によれば、クロス・スタッフが進化した型式のものであり、二星間の距離を測るための補助装置が付せられた構造になっている。(b) 弩儀は、*Mechanica* の Arcus Bipartitus (p. 68) にあたるとされる。この儀器は、1572年—73年、カシオペア座に現われた超新星の位置の決定のためにティコが利用したものである。(c) 紀限儀は六分儀であるが、「新儀器解」には、二星間の角距離を測るための六分儀の構造と用法とが記述されている。(4)の赤道経緯儀には、(a) 簡儀 (Armillae Aequatoriae, p. 64) の説明と、(b) 全儀 (Armillae Aliae Aequatoriae, p. 60) の図解が見られる。最後の(4)の黄道経緯全儀は、*Mechanica* の Armillae Zodiacales (p. 52) に相当する。別に『恒星曆指』第 1 巻には、恒星の位置を測定するための六分儀の正確な図と、(4)の(b)とほぼ同じ赤道経緯儀の

38) このページ数は、I. L. E. Dreyer 編の *Tychonis Brahe Opera Omnia*, Tom. V, 1923 所収の *Mechanica* のページに対応するものである。以下同様。

図が載せられている。この記載の仕方は、ティコが *Astronomiae Instauratae Progymnasmata* (1592年刊)において、この二種の儀器 (pp. 249, 251) その他をあげていることに対応しているのである³⁹⁾。

以上、崇禎改暦事業のなかで整備ないし導入すべきものとされた観測諸儀器は、主としてティコ・ブラーエの *Astronomiae Instauratae Mechanica* から抜粋して、『測量全義』を中心に説明されたという事実について明らかにしてみた。『崇禎暦書』の「暦指」の理論が *Progymnasmata* をはじめとする著作から訳出して編纂されたという事実とともに、この観測技術の導入は、崇禎改良の目的に合致するように、ティコ・ブラーエの天文学に基礎を置くものであったということを変更して明確にしたものであるといえよう。

ティコ・ブラーエの観測儀器的精度についての最近の研究によれば⁴⁰⁾、かれの観測技術が当時としては最高のものであり、肉眼観測の限界に迫るものであったことがよく理解できる。ティコの8個の基準星 (α Arietis, α Tauri, μ Geminorum, β Geminorum, α Leonis, α Virginis, α Aquilae, α Pgasi) の赤経と赤緯、ないし子午線高度、および太陽の子午線通過高度の観測についての誤差の評価がなされている。検討された恒星用の観測儀器は、(1) Mural Quadrant ($\phi = 6.5$ ft.), (2) Revolving Wooden Quadrant (5 ft.), (3) Revolving Steel Quadrant (6 ft.), (4) Small Azimuthal Quadrant (2 ft.), (5) Portable Brass Azimuthal Quadrant (2 ft.), (6) Astronomical Sextant for Altitudes (5 ft.), (7) Two Similar Equatorial Armillary Spheres (5 ft.), (8) Large Equatorial Armillary Sphere (9 ft.) の8種であり、太陽観測用のものは、このうちの(1), (2), (3), (6), (8)であった。さて、(7)を除いた場合、8個の基準星の位置にかんする平均誤差は、(2)の32.3秒から(4)の48.8秒の範囲に入る。他方、太陽の位置の場合については、(1), (2), (3), (6)についての年間平均誤差は、最大が1588年のマイナス42.8秒であり通常は30秒以下であったと評価されている。したがって、一般にティコの観測儀器による天体位置観測の精度は、30秒台以下の誤差に収まると考えてよいという結果が導かれているのである⁴¹⁾。

崇禎二年に徐光啓が列挙した儀器については、『崇禎暦書』に収められた諸篇において構造や用法が詳しく説明されたことになる。さらに、これらの儀器が製造され、整備された結果については、徐光啓の後継者の李天経の報告書にあげられている。そしてその報告書も『崇禎暦書』の『治暦縁起』に収録されているのである。こうして、ティコ・ブラーエの理論と観測結果の導入は、中国における観測による検証を行なうという作業とあわせて進められたのである。この治暦

39) *Tychonis Brahe Opera Omnia*, Tomus II, 1915所収。

40) 註(26)にあげた Wesley の論文を見よ。ティコは多くの儀器を作り、観測精度をあげようと努力した。また、V. E. Thoren, "New Light on Tycho's Instruments", *Journal for the History of Astronomy*, iv, 1973; 25-45.

41) Wesley, *op. cit.*

過程の問題については稿を改める必要がある⁴²⁾。

崇禎の改良事業は、進行するヨーロッパの科学革命が生み出していた、新しい、しかも精度という点では当時としては最高の知識を導入したのであり、しかもこの作業は、徐光啓の指導によって組織された暦局に基礎をおいて進められた⁴³⁾、中国の緊急の必要に応えるための科学事業であったのである⁴⁴⁾。

42) 本文に紹介した以外の崇禎改暦における天文学的知識の導入については、蕨内清「西洋天文学の東漸」『東方学報』京都15冊，1946（『中国の天文暦法』，東京，1969年に再録）を見よ。

43) この問題はすでに論じた。註(1)参照。

44) この時期におけるヨーロッパ天文学の紹介については、本文でも論じたように『星界よりの報告』の内容は陽瑪諾の『天文略』に、望遠鏡についての議論は『遠鏡説』に、また望遠鏡による黒点の観測の紹介については『測天約説』（1628年）に見える。これらの問題、およびティコ・ブラーエの宇宙体系の導入などについては、たとえば、

J・Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. III, Cambridge, 1959; 442—447（邦訳は著者ら共訳『中国の科学と文明』第5巻『天の科学』，東京，1976）などを参照せよ。