

以管窺天

—— 管を以って天を窺う ——

藤原裕文

(室蘭工業大学工学部)

「^{いかんきてん}以管窺天」とは竹の管を通して天をみることであり、転じて「管を以って天を見るは小智である」の意味にもなる。これに似た言葉「管見」は、本来の意味で使われるほかに、見識・視野が狭いとか自分の知識や見解を謙遜して言うとかいう場面で使われる。孔を穿った管（筒）には洋の東西を問わず、視準器、照準筒、望筒、窺管、空遠鏡、見通し木、アリダード (alidade), polar-sighting tube 等々多岐にわたる呼称があるように、太陽や月の視直径や北極星の位置や周極直径、天の北極（北辰）の位置、地上の目標物の位置・座標や方位角等々の測量地（天を測り、地を量る）に用いられてきた。今回は測量地に使われた筒にまつわる、先人たちのさまざまな工夫の跡をたどることにする。

オランダで発明された、筒にレンズをはめ込んだ望遠鏡や顕微鏡は、我々の見る世界を大きく広げた。その望遠鏡は「オランダ人の管」「遠くの眺め」あるいは「円筒」と呼ばれていた¹⁾という。ガリレオ (Galileo Galilei) も著書『星界の報告』²⁾のなかで、「わたしは筒眼鏡 (=cannocchiale の訳語) を考案した。これら (=木星の4個の衛星) を発見し観測したのは、ついこのあいだのことであった」と述べている。1611年ガリレオを主賓とする山猫学会 (学会の紋章に画かれた山猫は無知と戦う真実の象徴という) 主催の晩餐会において、筒眼鏡はギリシャ語の「テレスコープ」と命名された¹⁾。以後、近代の科学機器に古代ギリシャの名前をつける習慣がはじまったという。

望遠鏡以外の照準筒を話題とする。R. アイスラー (R. Eisler)³⁾ や J. ニードム (J. Needham) と玉鈴⁴⁾ による照準筒のまとまった調査報告が参考になる。2世紀に天動説を受け継ぎアレキサンドリアで活躍したプトレマイオス (K. Ptolemaios) が著した天文書『アルマゲスト』⁵⁾を通し

て、我々はヒッパルコス (Hipparchos, BC 190~120 頃) の業績を知ることができる。彼の考案したアリダードとは、約2m長の目盛り付き尺の一端に覗き孔板を固定し、対物照準孔板を溝に沿って前後に移動できるようにするかあるいは固定した機器である。これを支持台に取り付けて水平もしくは垂直面内に回転させることにより、方位角や仰角の測定が可能となるのはいうまでもない。プトレマイオスは、覗き孔から太陽や月を覗いて太陽や月の見かけの大きさと照準孔径が一致するまで対物照準孔板を移動させ、太陽や月の視直径 (見込み角) を求めた⁵⁾。さらに日月食時には対物照準板に別の照準孔板を重ねて上下左右に移動させ、その移動量から食を測定した。

また、文献³⁾に、照準筒を用いて北極星 (現在の北極星か?) が筒内の縁を回転するのを確認し、北極星と北極 (North Pole) の見込み角や北極の位置を求める方法が紹介されている。ほぼ同時代に中国宋の沈括も同様の観察を行った^{4,6)}。これは後で詳しく述べる。

孔子は『論語』の「為政」のなかで、「^{まつりごと}政を為すに徳をもってすれば、たとえば北辰はその所に居て、衆星これをめぐるのが如し」と述べている⁷⁾。北辰は孔子の活躍した2500年前には広く知られていたことになる。天体は地球の自転軸のまわりを見かけ上1日1回転し、自転軸の延長線上に北辰がある。地球が歳差運動するため、北辰は星空の中でゆっくりと回転 (周期は25,800年) する。古代には北辰の近くにめぼしい星はなかったが、小熊座の最も明るいβ星 (別名を帝星) が最も近かった。現在では北辰のきわめて近いところに小熊座α星の北極星ポラリスがある。また、地球が歳差運動するため、移動するはずのない恒星の春分点を基準に測った経度が先人達の観測データに比べてずれていることから、ヒッパルコスは春分点が移動することを発

見し、プトレマイオスは春分点が100年に1度（正確には1度24分（ $360^\circ/258$ ））移動することを確認した⁵⁾。

中国にはおもに2つの宇宙構造説^{7,8)}がある。ひとつは孔子よりさらに古い周時代に生まれた蓋天説であり、もうひとつは漢時代に生まれた渾天説である。3世紀初頭に趙君卿が周時代以降の蓋天説に基づいた知識を集成した天文学書『周髀算經』⁸⁾によると、図1に示すように、宇宙は北辰を中心とする円形の天とそれに平行な方形の大地から構成される⁸⁾。これを天円地方という。天に付着する日・月や諸星は北辰のまわりに時計回りに周円運動する。蓋天説では日の光が到達する距離は一定と考えられていたので、日が北の方へ回って遠くなると日の光が及ばず夜になり、日が近く来ると昼になる^{7,8)}。

長さ8尺の棒（表、周の脾またはノーマンという）を用いて天の大きさを測ることは、周の時代に始まった⁸⁾。長さ8尺の表を地面に垂直に立てて、太陽については表の影や斜辺の長さを測る。また天体については表の先端に縄をつけ、天体と表の先端の延長線上にその縄を引っ張って地面に目印をつけ、表と目印の間隔を測る。古代中国では地方の緯度差は表の影1寸に対して千里とする説が信じられていた。ただし、周時代の千里はおよそ405 kmである。夏至の正午に、周の陽城（河南省、およそ北緯35度）での影の長さを測り、1.6尺を得た。1寸千里説によると陽城の南16千里では影は生じないので、日の高さすなわち天地の間隔 H （千里）は $1.6:8=16(\text{千里}):H$ から $H=80$ 千里になる。また冬至に陽城で表を立てて北極（北辰に近い）を望み、地上での長さを測り、10.3尺を得た。陽城から天の北極を見込む角度すなわち緯度は $\tan^{-1}(8/10.3)=37.8$ 度となる。また陽城から天の北極の真下までの距離は $10.3 \times 10 \times 1 \text{ 千里} = 103$ 千里となる。したがって夏至での日周半径は119千里となる。さらに冬至の正午では夏至の正午よりも影は長く、13.5尺となるので、冬至での日周半径は238千里（135千里+103千里）となる。蛇足ながら、冬至での太陽の円周は1,428千里と記されているので、当時の中国では円周率は3であったことがわかる。こうして、古代中国では表を用いた測定によって宇宙の大きさを決めた。

『周髀算經』によって、孔を穿った竹管を用いて太陽の直径を測定する方法⁸⁾を概略する。夏至を過ぎると、正午の太陽は日を追って南へゆき、影はますます長くなる。正午に陽城において、8尺の表を立てる。影の長さが6尺になったときに、3:4:5の直角三角形から、斜辺の影の長さは10尺となる。したがって、陽城から太陽直下の地点までの距離に60千里、天の高さに80千里を用いると、陽城から太陽まで直線距離は100千里となる。孔の直径が1寸、長

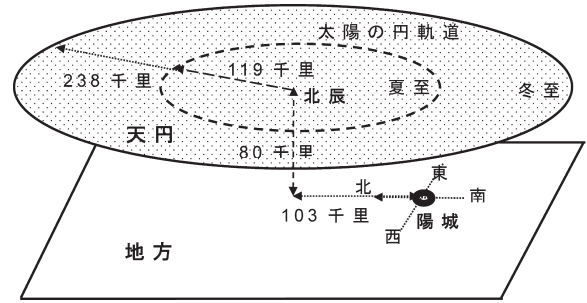


図1 蓋天説に基づく天円地方と宇宙の大きさ。

さが8尺の竹管で太陽の影をとらえて観測すると、管にすっぽりと太陽が入り、太陽の大きさが管孔の大きさと同じになる。これから太陽の視直径を見積もると $1/80=43$ 分（実際には32分）となり、太陽の直径 D （千里）は $80:1=100:D$ （千里）から、1.25千里となる。

表を用いて北辰の近くにある北極星（この時代、小熊座の β 星を指す？）の周極運動の観測法⁸⁾にも触れておこう。冬至の日に北極星がそれぞれ最も西と東にやってくる時刻に、陽城で、8尺の表の先端に縄をつけた表を用いて、星が最も西と東に来る位置につけた目印の間隔を測ると2.3尺であったという。北極星の周極直径の見込み角はおよそ10度となり、周極直径 d （千里）は $2.3:10.3=d:103$ （千里）から23千里となる。

漢時代に成立した渾天説では、絶え間なく1日1回転する天は卵殻に、地は卵黄に喩えられる⁷⁾。天は球殻であり、大地は水に浮かぶ平板である。17世紀に西洋天文学が舶載されるまで、地球（大地が球形）という認識は全くなかった。渾天説は精密な測天器・渾天儀（または渾儀）の使用に結びついて形成されてきた。渾天儀とは、地平環、赤道環、子午環等の環が組み込まれ、水や水銀によって天体の運行にあわせて回転させ、内部に取り付けられた照準筒を通して、天体の位置を観察し見込み角を読み取ることができると精密な測天器である。以後、この渾天儀は測天の主流になった。

11世紀、北宋の天文・暦法長官の職にあった沈括は渾天儀に取り付けた照準筒の直径を変えて北極星の周極半径を測定した。彼の随筆『夢溪筆談』⁴⁾のなかで、「初夜には窺管（照準筒）の中にあつた極星は、しばらくすると出ていってしまった。この事実から、窺管が小さければ、極星の遊転を（視野の中に）おさめられないことがわかり、そこで少しずつ窺管を展げて観測を続けた。およそ三か月たって、極星ははじめて窺管の（視野の）中をめぐり、いつも見えて隠れなくなった。こうしたあとで天の中心の不動の場所（北辰）が、極星から3度あまり離れていることがわかっ

た」と述べている。沈括が活躍した時代から推測すると、引用文中の極星は小熊座 α 星だろう。現在では極星と北辰の角半径はおよそ1度である。なお、中国では周天度数は365度と4分の1度であり、現在我々が使う360度ではないことを付言しておく。

蓋天説や渾天説によると、天体はそれぞれ平殻や球殻状の天空に付着して日周運動することになり、太陽と月がゆきあう時には互いに邪魔になるのではないかという疑問が生じる。沈括は疑問にこう答えている。「太陽と月は球形のようなものです。(中略)太陽と月は気で、形があってもその実質はありません。だから互いに衝突しても、邪魔にならないのです」⁶⁾。この考えの根底には、世界ははじめ混沌としていたが、つぎに軽い清気と重い濁気ができて、軽い清気は昇って天となり、重い濁気は下って地となった、という中国の宇宙進化論がある。

江戸後期においてわが国は欧米の近代的な科学技術を受け入れる一方で、わが国と諸外国との間に緊張が高まってきた。海岸防備には地図の作成が差し迫った問題となり、砲術者にとっては船舶までの距離測定の必要に迫られて、測量機器への需要が急増した。江戸やその他の大都市周辺では、精密な真鍮製の各種測量機器を入手しようにも大変高価であった。地方では品薄で高価のため、レンズや望遠鏡だけでなくこれらを組み込んだ測量機器の入手は非常に困難だったにちがいない。地方の測量師は耕地面積や水路の水準等の測量や村絵図の作成を主業務とし、精密な測量を必ずしも必要としなかった。

こんな事情があって、木製の簡易測量機器の製作法を記した測量書も多く刊行された。甲斐広永著『量地図説』⁹⁾(1852年刊行)には正方儀や全方儀(トランシット)の分解図とともに簡易製作法や量地の仕方が、また福田理軒著『測量集成』¹⁰⁾(1856年刊行)には彼自身の考案した量地儀(全方儀)の使用法・分解図・製作法や割円八線表(三角関数表)を使った量地等が記されている。

『量地図説』には、全方儀に使われる照準用の望遠鏡の代

用品として空遠鏡が紹介されている⁹⁾。「空遠鏡は目的を見通し目当に用いる器である。望遠鏡を用いるときにはその視る所は明らかであるけれども、眼鏡師のいない不便の地においては容易には得難い。よってその形を望遠鏡の如くして、玉無き空管を製作して空遠鏡と名付ける。玉が無いとはいえそれを用いるときには、眼力は管中に入りその視る所は明らかとなる」と記されている。さらに対物部に十字に糸を張った空遠鏡の断面が図解されている。

福田理軒の考案した量地儀とは、水平盤に取り付けた半円分度器付き見通し木(照準筒)を覗いて目標物の仰角を測り、同じ盤に固定した磁針盤で方位角を測る機器である。『測量集成』¹⁰⁾には量地儀の全体と分解図が掲載され、見通し木は「随分真直なる物を用い、その内に見通しの穴を穿ち、また照門見当(照準を定める部品)を付け、これを半円分度器に堅く付けて用いる」と説明されている。

「視野の狭い」がゆえに、管を覗くと「眼力は管中に入りその視る所は明らかとなる」ということであろうか。紀元前から、孔を穿った管は測天量地になくはならない簡便で精密な光学機器であったにちがいない。

文 献

- 1) D. J. プラスティン：大発見 第9章 39節(鈴木主税・野中邦子訳、集英社、1988) pp. 356-375.
- 2) ガリレオ・ガリレイ：星界の報告(山田慶兒・谷 泰訳、岩波書店、2000)。
- 3) R. Eisler: "The polar sighting-tube," Arch. Int. Hist. Sci., 28, No. 6 (1949) 311-332.
- 4) J. ニーダム, 王 鈴：20章 中国の科学と文明(5) 天の科学(思索社、1991)。
- 5) プトレマイオス：アルマゲスト(第5編、藪内 清訳、恒星社厚生閣、1993)。
- 6) 沈 括：夢溪筆談1(梅原 郁訳注、平凡社、1979)。
- 7) 藪内 清編：晋書天文志。中国の科学(中央公論社、1995)。
- 8) 藪内 清編：周髀算経。中国天文学・数学(橋本敬造訳、朝日出版社、1980) pp. 289-350.
- 9) 甲斐広永：量地図説。江戸科学古典叢書10(大矢真一解説、恒和出版、1978)。
- 10) 福田理軒：測量集成。江戸科学古典叢書37(大矢真一解説、恒和出版、1982)。