

中国計量史話 (3)

関 増 建** 著
加島 淳一郎*** 訳

五、暦法要素の測定

暦法は古代社会において極めて重要なもので、古人は暦法の制定を国家大事の一つと見ていた。暦法制定の基礎は測定であるが、先ず暦法の諸要素を測定後、それらを合理的に編集し、人をして満足させる暦法を制定した。

伝統的暦法が包含する要素は非常に多く、ある内容、例えば五星運行周期等は現行の農曆の中からは已に消失している。これらは再度紹介はしない。ここで論じたいのは、主に回帰年と朔望月の暦法要素の測定である。何故ならこれらは現行農曆中でも依然用いられているからである。

1. 測影驗気で歳首を定める

伝統暦法中、回帰年の作用は比べるものがないほど重要である。いわゆる回帰年とは太陽の円面中心が相継いで二度春分点を過ぎた時の経過時間を指す。通俗的に言えば、太陽の空中における周年視運動が、南から北へ又北から南への回帰性の表現である。異なった季節に、毎日正午に太陽を仰視すると正南方位の高度には在るが、まったく同じ位置ではないことに気付くであろう。冬至前後には、太陽は最も南寄りで、正午に太陽照射が地面に形成する物体の影は一年で最も長い；冬至が過ぎると、太陽は逐次北

へ向かって回帰し、夏至前後には、毎日正午には太陽は殆ど人の頭頂の上（地球北半球の緯度地区では）に在り、この時物体の地面への投影は一年の中で最短である。夏至以後、太陽は又逐次南に移動し、半年の時間を経過し、再び冬至点に帰る。太陽がこのように南から北又北から南への運動を完成する経過時間が即ち一つの回帰年である。一つの回帰年の中で地面上の気候も寒から暑又暑から寒にと一連の変化が経過する。太陽の運動が直接地球上任意の一点の気温変化を決定するので、回帰年の長さは地面気温変化周期にも重要な作用を為し、回帰年が暦法中極めて重要で独特な地位を占めている。如何なる暦法にあっても、全て自己の回帰年数値を取り出しているが、古人はこれを歳実と呼んだ。

歳実は太陽回帰運動周期を反映しており、太陽が回帰運動中連続二度、ある天文点を通過する精確な時間を測り出せば、回帰年の長さが推算できる。換言すれば太陽が、ある同一地平高度に達する時間を精確に測れば、歳実を求めることが出来る。問題は非常に簡単である：回帰年の長さを推算するには、渾儀で毎日正午時の太陽の地平高度を観測すればよいのである。

しかし、実際の操作では、この方法は使えない。日光の耀きは人の直視を不能にし、直接観測法で太陽の地平高度を測定することは、無理

* 原稿受付 2002 年 4 月 24 日 中国大百科全書出版社（北京阜成門北大街 17 号）の〈中華文明史話〉叢書百冊の中の一冊として 2000 年 1 月に出版されたものの紹介

** 上海市華山路 1954 号上海交通大学人文学院科学史与科学哲学系

*** 会員 〒251-0045 神奈川県藤沢市辻堂東海岸 4-6-22

である。回帰年の長さを測算するには、別の道を歩まねばならない。これに対し、古人は立表測影の方法を選択した。

太陽が空中で異なる地平高度に在る時、同一物体を照射して地面上に形成する影の長さも異なる。このことが古人を啓発し、地上で物体の影の長さを測定すれば太陽の空中の位置が推測できるとの思いを抱かせた。＜漢書・天文志＞はこの思想を非常に明快に表現している：「日が極を去る遠近の差、晷景（表影）長短の制也。極を去る遠近知り難く、晷景を以てす。晷景は、日の南北を知る所以也」。即ち、太陽が南北回帰運動をなす時、天極から離れた距離で地面表影の長さが決まる。太陽の天極からの距離を直接測り知することは難しいので、表影を測定して間接的に知ることが出来る。表影測定の目的は即ち太陽の空中方位を推測することである。

立表測影法での回帰年の長さ測定は簡便に実施できるが、只具体的に極値意義を有する影長を測定しなければ、回帰年の長さを直接判定することは出来ない。例えば一年の内、正午時刻の影の最短日は夏至に相応し、この時太陽は最も北に寄っており、日北至と呼ぶ；影の最長日は則ち冬至に相応し、この時太陽は最も南に寄り、日南至と呼ぶ。南至であろうと北至であろうと、その中の任意なある時刻に連続二度精確に測定しさえすれば、回帰年の長さが推算出来る。歴史上、中国古人が選択したのは日南至則ち冬至点の測定で、これは彼らの冬至に対する認識と関連している。＜後漢書・律曆志＞に言う如く：「日は天を周り、一寒一暑、四時備成…之を歳と謂う、歳首は至也」。四時とは、春夏秋冬の四季を指す。太陽が天空で回帰運動して、一つの周期が過ぎる毎に、地上の気候も春夏秋冬の寒暑変化を一度経過し、これを歳と呼ぶ。歳が回帰年であることは明らかである。「歳首至也」の至とは冬至のことで、即ち冬至が一つの回帰年の開始を意味する。このため、連続二度冬至発生の時点を測れば、それらの時間間隔が求められ、更にこの冬至二度の間の年数で除

すれば、一つの回帰年の長さを得ることが出来る。これが中国古人の回帰年長さ測定の基本思想である。

古人は自然界は陰陽二気で構成され、しかも陰陽二気は止まることなく転換すると認識していた。冬至は陽気の開始萌生の時刻で、夏至は陰気の開始萌生の時刻である。一年 24 節気、各節気は陰陽二気の異なった状態に対応し、これらの節気は又太陽が黄道の異なる位置に在ることを反映し、立表測影の方法でそれを確定する。このため、立表測影本体も陰陽二気の一種の測驗であり、古人はこれを驗気と呼んだ。驗気の実質は二十四節気の測定であり、最も重要なものは、則ち冬至と夏至の測定である。

中国古代の賢人の冬至と夏至に対する認識は相当に早く、甲骨文に已に「日至」の記載が在る。＜左伝＞にも二度「日南至」の記録があり、当時已に冬至の観測をしていたことが判る。一般の認識は、遅くとも春秋中期、日中の影長を測って冬至と夏至を定めることは、已に暦法作業の重要手段になっていた。

日中影長測量に専用の器具があり、土圭と呼ばれた。土圭は一般には玉で制作された。＜考工記・玉人之事＞に土圭の形と機能の記載がある：「土圭、尺有五寸、以て日を致し、以て地を土す」。「日を致す」とは日中表影長さを測定して日至を求めること；「土」は度の意味で、「地を土す」は即ち地域測量である。ここから、土圭は長さ 1 尺 5 寸の玉質器具で、日中表影の長さを測定して、冬夏至を判定し又地域を測量する。

早期の土圭は尺度を刻んだ平板であったが、後に影長を測るのに便利のように、人々は圭と表を一つに纏めた。表を圭板の一端に豎て、板面に尺度を刻み、直接平板上から日中時表影の長さの値を読み取れるようにした。土圭と表を纏めたものを圭表と呼んだが、人によっては古い名称をそのまま使い、土圭とか圭と呼んだ。圭表も材料は、石でも銅でも或いは玉でもよかった。完備された圭表が何時頃から始まったか

は、今尚断定は難しいが、遅くとも西漢を下ることはない。漢代の〈三輔黄図〉の記載：「長安靈台に銅表有り、高さ八尺、長さ一丈三尺、広さ一尺二寸。題に云う：太初四年造」。靈台とは当時の天文台で、専門に天象を観測した。「八尺」は表の高さで、中国古代圭表の標準の高さである。「一丈三尺」は銅圭の長さ。「一尺二寸」は圭面に相応する幅である。太初は漢武帝の年号で太初四年は紀元前 101 年に相当する。これが目下判明している圭表全体に対する最古の記載である。

圭表を利用して毎日正午に表影長さを測定すれば、直接冬至の期日を決定できる。何故なら一年の内正午の影が最長の日が即ち冬至の日である。この方法で観測を進めれば、その誤差は多くても一、二日前後だが、長期観測を通じ資料を累積し平均すれば、誤差の影響は大々的に減少する。實際上、中国で戦国時期に発生した四分暦は已に 365 と $1/4$ 日を採用している。これは比較的正確な回帰年長さの値であり、今の数値を当時の回帰年長さ比べると、年誤差は 1 % も無い。これは圭表での冬至測定が素晴らしいもので一定の精度に達していることを証明している。

四分暦の回帰年長さは 365 日と $1/4$ 日、これは第一年の冬至が正午に発生したとすれば、第二年の冬至は正午を過ぎること $1/4$ 日に発生し、第三年の冬至は正午を $1/2$ 日過ぎた時、即ち夜半に発生する。第四年の冬至は正午を $3/4$ 日過ぎた時発生し、第五年目になって、冬至発生時刻は再び正午に戻る。圭表を用いて測定すると、第一年の表影が最長、第二年稍短く、第三年最短、第四年表影は第二年と等しく、第五年でやっと第一年表影と同じに戻る。このことを〈後漢書・律曆志〉は次のように述べている：「曆数之生也、乃ち儀表を立て、以て日影を校じ、影長ければ則ち日遠し、天度の端也。日其の端に発し、周りて而して歳と為る、然れども其の影復せず。四周、千四百六十一日而して影初に復す、是（これ）則ち日行の終。周を以て日を除せば、

三百六十五日四分度（日）の一を得て、歳の日数と為す」。即ち 365 と $1/4$ 日となる回帰年の長さの由来を説明している。又曆法の基本数値は立表測影から発生したことを我々に告げるものでもある。影の最長の時刻を選択して計算の起点とし、太陽がこの時刻から黄道に沿って 1 周運行するのを 1 歳とする。太陽が 1 周運行しても、相応する正午の影は未だ元来の長さに回復せず、4 周を必要とし、即ち 1461 日で表影長さはやっと復元する。1461 を 4 で割れば、1 歳の具体的日数を得る事が出来る。

圭表で冬至が測定出来るのは、一年の中正午の影が最長の日が即ち冬至の所在日だからである。但し実際の操作にはある難しさがある。その一つに冬至日の気候条件の影響を受けることがあるが、更に重要なことはやはり冬至点が正午時刻に一定に発生しないことである。もっと適切に言えば、冬至点が正午ぴったりに発生することは、千載逢難しである。このため、上述の四分暦冬至時刻の測定は、冬至発生 of 正確な時刻を測るのは難しく、当時の人々は連続何年かの冬至日正午の表影長さを測って、その中の最長の一年を取って、その年の冬至時刻をその日の正午と定めた可能性が強い。以後一年過ぎる毎に、冬至時刻に相応する $1/4$ 日加えた。つまり、この方法で定めた冬至時刻はある程度の人為要素を有し、冬至の実際の発生時刻とは一致しない。

では、どうやれば的確に冬至の真実の発生時刻を測定できるのか？この問題については、南北朝時期の祖冲之が解決方法を探し出した。

2. 祖冲之、巧みに冬至を測る

祖冲之（429～500 年）、字文遠は南北朝著名の数学家、天文学家である。一生で数多くの科学貢献をなしたが、その中の一つは理論と実践で伝統的冬至測定方法に重大な改善をなしたことである。伝統的方法は立表測影で冬至を測定し、一般には冬至前後の何日かを選んで、影の変化を測定し、冬至を推算していた。但し冬至

前後の日中影長の変化は非常に微小で、加えて太陽半影と大気分子、塵埃等日光を散射させる要素の影響があって、表影長さを精確に測るのを困難にしており、もしも曇り、雨、雪の日であれば、測る法も無かった。しかも、冬至時刻が丁度正午に発生するのはまれで、しかも立表測影は又正午にしかやれなかった。これら多くの要素の制限で、伝統的立表測影方法で冬至時刻を得ることは、誤差が大きくなるのは免れなかった。

これに対し、祖冲之は新しい数学意義を含む冬至時刻測定方法を提示した。彼は対称思想を運用して、冬至前若干の日と冬至後若干の日に影の長さを測定し、これを基に冬至の正確な発生時刻を推算した。祖冲之は曾って当時の天文学家 戴法興と曆法問題に関し論じたことがある。討論中、祖冲之は大明五年（461 年）十一月冬至時刻を測定した方法を紹介している。〈宋書・曆志〉は彼の測量数値と方法を詳細に記載している。原文：「大明五年十月十日、影一丈七寸七分半、十一月二十五日一丈八寸一分太、二十六日一丈七寸五分強、其の中を折取り、則ち、中天冬至は十一月三日に应ず。其の蚤（早）晩を求むるに、令後二日影相減じ、則一日差率也、之を倍して法と為す；前二日減じ、百刻を以て之に乘じ実と為す。法を以て実を除し、冬至に時を加えて夜半後三十一刻を得、元嘉曆後一日、天数の正也」。意味は次のとおり：大明五年十月十日影長を測り 10.7750 尺、十一月二十五日 10.8175 尺（「太」は古代記数法中の 1 個の符号で記数の最小単位の $3/4$ を表す）二十六日 10.7508 尺（「強」も古代の記数符号で、最小単位の $1/12$ ）。冬至は十月十日と十一月二十五日の間の真中の一日で即ち十一月三日。冬至の十一月三日の具体的発生時刻を求めるには、後面二つの日影長さを相減じ、一日の内影長の変化（即ち一日差率 $=10.8175-10.7508=0.0667$ ）この数値を 2 倍して除数とする（即ち「法」 $=0.0667 \times 2=0.1334$ ）、更に前二つの日影長さを相減じ、その差を用いて 100 刻に乘じ被除数と

する〔即ち「実」 $=100 \text{ 刻} \times (10.8175-10.7750)=4.25 \text{ 刻}$ 〕。除数で被除数を割って、冬至の正確な時間十一月三日子夜 31 刻を得る。この数値は〈元嘉曆〉の冬至に比べ一日遅いが、こちらの方が正確である。

今、図を以て具体的に祖冲之の測算方法を説明する。図中縦座標（Y 軸）は影長を表示し、横座標（X 軸）は時間を表示する。A 点を十月十日正午とし、それに相応する影長を a ；B 点を十一月二十五日正午、その相応する影長を b ；C 点を二十六日正午、対応する影長を c とする。 $b > a > c$ なので、B、C 間には必然的に一つの理想点 A_1 が存在し、その仮想の影長 a_1 と A 点影長 a は相等しい。このように、冬至前後の影長変化対称の考え方を根拠に、A と A_1 点の midpoint E が即ち冬至時刻の所在であるとする。十月十日正午の A 点から十一月二十五日正午の B 点まで 45 日、このように A と B の midpoint D の正確な位置は十一月三日子夜零時となる。X 軸に接して、DE を求めれば、冬至発生の正確な時刻が得られる。この図から

$$DE = AE - AD \quad (1)$$

$$AE = (AB + BA_1) \div 2 \quad (2)$$

$$AD = AB \div 2 \quad (3)$$

(2)、(3) 式を (1) 式に代入し、

$$DE = BA_1 \div 2 \quad (4)$$

相似三角形の対応辺比例原理から、次の式が得られる。

$$(b - c) \div BC = (b - a_1) \div BA_1$$

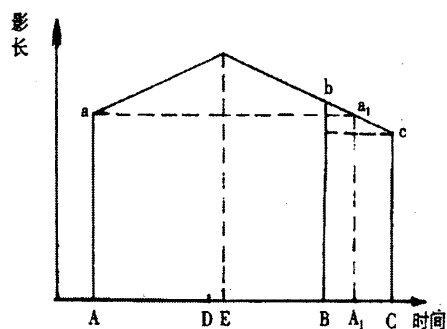


図 10 祖冲之が影を測って冬至を計算した原理図

即ち

$$BA_1 = (b - a_1) \div (b - c) \times BC \quad (5)$$

(5) 式及び $BC = 100$ 刻を (4) 式に代入すると

$$DE = (b - a_1) \div 2 (b - c) \times 100 \quad (6)$$

(6) 式中の $2 (b - c)$, は文中の「令後二日影相減じ、則一日差率也、之を倍して法と為す」に相当し、「法」は即ち除数である。(6) 式中分子部分の $(b - a_1) \times 100$, は文中の「前二日減じ、百刻を以て之の乗じ実と為す」に相当し、「実」は即ち被除数である。 $a_1 = 10.7750$, $b = 10.8175$, $c = 10.7508$ を (6) 式に代入すると、 $DE = 31.86$ 刻が得られるが、古代暦法計算では通常切り捨てなので、 $DE = 31$ 刻を取る。即ち祖冲之が大明五年に測って得た冬至時刻は十一月三日子夜三十一刻である。

祖冲之の測定方法を伝統的方法と比べれば、優越性は顕著である。まず、冬至日の気候の影響を受けず、冬至前後の若干の日に日影を測定すればよい。次に測定の正確性を向上させた。冬至前後の影長変化は非常に緩慢であるが、祖冲之は冬至前後の 20 日以上影長を観測しており、この時の影長変化は比較的顕著で、測定、計算共に比較的容易である。更に重要なことは、祖冲之の方法を利用すれば、比較的正確な冬至時刻が測れることである。冬至時刻が正午に合致することはなかなか無く、圭表では直接観測が不能の時でも、この方法であれば、推算出来る。そこで祖冲之の方法で冬至時刻を求めることは、暦法推算に対し非常に重要な実地的意義を有する。

しかし、祖冲之の方法も完璧無欠ではない。彼の方法には二つの仮説が含まれている：①冬至前後の影長変化は対称である。即ち冬至前、後の冬至時間との間隔が同じ両時刻の影長は相等しい。②影長変化は一日の内では均等である。ここで言う一日の内の影長変化とは、太陽が東から昇り西に落ちる運動が造成する表影長さの一日内の変化を指すのではなく、一種の想像である：今日の日中影長と明日の日中影長は異なるので、ある一日の日中影長は変化しないとす

る。これは一つの仮説であるが、天文学の本質を含むのは一日の太陽視赤緯の変化を反映しているからで、この仮説は適切である。厳格に言えば、祖冲之のこの二つの仮説には誤差が有るが大きいものではない。冬至前後の影長変化は不対称だが対称に近い；一日における影長変化は均等とは言えないが、均等と見なして処理しても誤差は大きくない。このため、祖冲之の方法は、冬至時刻の比較的正確な測定の実現を可能にした。この発明は中国古代冬至時刻測定発展過程の一里塚である。後世天文学家がこれを受け継いでいったことは当然である。

祖冲之がこの成功を収めたのは、細心の実践と思考に専心した結果である。彼は正確な冬至時刻を得るための努力を描写している。「親しく圭尺を量り、躬（自ら）儀漏を察し、目は毫厘を尽くし、心は籌策（計画）を窮める」（＜宋書・暦志＞）測算に専念した。彼の努力は新たな測算方法を編み出しただけでなく、回帰年長さの測定上でも重大な成就であった。彼の測算では一回帰年の長さは 365.2428 日。この数値は非常に精密で、これより精密な数値が示されたのは、これから 700 年以上経ってからである。欧州で 16 世紀まで使用されていたユリウス暦では、回帰年長さの数値は 365.25 日で、祖冲之の背の影も踏めぬものである。

3. 郭守敬の高表での測影

祖冲之が伝統的冬至時刻測定方法を改善した後、歴代の人々が測影験気の探求を進めた。例えば北宋の姚舜輔が多組観測方法を採用し、平均値を求めて冬至時刻を定めた。この方法は誤差理論と合致し科学的である。

祖冲之の後、測影方法を改善した人は非常に多いが、その中で著名なのは元代天文学家 郭守敬である。郭守敬 (1231～1316 年)、字若思は、順徳邢台（今の河北省邢台市）の人、中国古代の傑出した科学者で、天文儀器製造、天文観測、水利工程等科学技術領域で卓抜な成果を収めた。

伝統的立表測影技術に改善を加えたことは、彼の幾多の科学的成果の一つである。

中国天文史を縦観すると、祖冲之が理論上冬至点の観測方法を革新したのを除いては、歴代の暦法制定者は正確な冬至時刻を求めるために、測定精度を高めることから出発し、探求を反復し、測定時読取最小単位を増加させた。伝統的最小単位は分であったが、精度を高めるため、古人は分の下に厘、毫、秒等の単位を増やし、最小単位の下に、強、半、太、少等の推定数を設けた。＜歳時記＞の記載によれば：「晋魏宮中紅線を以て日影を量り、冬至後日添えて一線長し」。ここではなんと線の直径を最小読取単位としている。これらは、古人が測定精度向上のためになした努力を反映している。

但し、読取り数単位増加の観点から出発した測定精度向上は、その効果は限度があり、人の目の分別能力の制限を受ける。分以下の単位は、実践中に正確に読取することは難しかった。これを解決するため、郭守敬は高表で測影する構想を提示し、実施した。＜元史・暦志＞に郭守敬のこの発明とその思想が詳細に記述されている：「旧法は地平を撰び衍し（置く）、水準縄墨を設け、表を其の中に植え、以て其の中晷を度す。然し表短促（極めて短い）、尺寸の下、分秒大半少を為す所の数、未だ分別易すからず。…今銅を以て表と為し、高さ三十六尺、端を挟むに二龍を以てし、一横梁を挙げ、下圭面の至る、共に四十尺、是八尺の表の五と為る。圭表に刻して尺寸と為し、旧寸一を、今申而して五と為し、厘毫差分別易し」。この意味は次のとおり：伝統的立表測影方法は、地面の平坦な場所を選択し、水平儀で圭面を検査して、水平状態を保たせ、相応の地点に一本の表を立て、表頂から錘を垂らして表身を校正し、鉛直方向に位置させ、これを以て影の真の長さを測定する。この方法は悪くはないが、表の高さが不足し僅か8尺である。表が低ければその影も短く、測定時尺と寸以下の単位、つまり平常言う所の分、秒、及び大、半、少の読取りは容易ではない。

現在銅を用いて高さ36尺の表を作り、銅表頂端に二匹の龍を接続し、二匹の龍に一本の横梁を托し、横梁から圭面までの高さ40尺、これは伝統的な8尺の表の5倍、圭面に尺度を刻むが、表の高さが元来の5倍なので、影の長さも相応に増加して元来の5倍、下面の厘毫等の単位も区分が容易になる。

ここから、郭守敬の思想——伝統的測影方法の読取り精度が低いのは、原因は分、厘、毫、秒単位が小さすぎて、肉眼では区分が難しいと認識していたことが読取れる。区分を明確にするには、その実際の長さを増加させる必要があり、圭面上の読取り単位が増加すれば、測定値の不変を保持するために、表の高さも相応倍数増加させなければならない。そこで、高表の建造が必要となった。

郭守敬の分析は不正確で、高表で影長が増加しても、影を測定する時の実際の読取り精度はこれが原因で改善された訳ではない。只郭守敬が高表を作った考え方は科学に合致している。現代誤差理論によれば、測定の精確度はその相対誤差を通じて表現でき、しかも相対誤差は絶対誤差と測定値の比值に等しい。即ち、

$$\text{相対誤差} = \text{絶対誤差} \div \text{測定値}$$

立表測影で言えば、絶対誤差は読取り精度を反映し、測定値は相応の影長を反映する。高表では、読取り精度は不変、即ち絶対誤差は不変だが、影長は明らかに何倍にも増加し、相対誤差は同倍数縮小し、測定の精確度も同倍数向上したことを意味する。

郭守敬の高表は非常に精細に制作されている。伝統的単表表頂を、双龍で高く掲げた水槽で平行を取った銅梁に改め、石圭圭面を子午方向に置き、圭面上にも溝を設け水槽とし、周囲を巡らせて平行を取りやすくしている。表身はやや北に向けて傾け、梁上に三本の鉛垂線を懸け、錘尖連線を取って表影起点とするという、周到に考慮されたものである。

時間の推移に伴い、郭守敬の高表は已に消失したが、その測影遺跡は今も見ることが出来る。

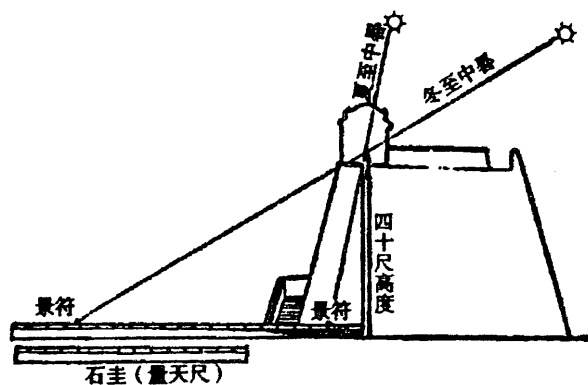


図 11 登封の高表

即ち現在河南省登封告成鎮上に巍然として屹立する観星台である。近年になって、関係部門が遺跡を測定したところ、その石圭の方位と当地の子午線が完全に一致していることを発見した。郭守敬の方法で実地測影した結果、予期した効果をえた。登封観星台は世界でも著名な古天文台遺跡で、中国重点文物保护单位である。1975年国务院予算で修復し、当遺跡維持に重要な作用をなした。

郭守敬高表は伝統的表の高さの5倍で、影の出来具合も同様なため、測定の精確性も相応して元来の5倍向上している。但し、表高の増加に伴い、影の精緻さも必然的に下降したことは、皆が知っている事実である。郭守敬はこの現象を次のように呼んでいる：「表長ければ則ち分寸稍長く、不便な所は、景虚にして淡、実影を得難し」（＜元史・天文志＞）。「景虚而淡、難得実影」の8字は、高表が作り出す影の端が曖昧模糊となる現象を率直に述べている。これを解決しなければ、高表測影の優越性も抵抗にあって消えてしまう。

郭守敬は景符を発明して、この問題を徹底的に解決した。所謂景符とは、実質的には小孔成像器である。＜元史・天文志＞に景符の形が詳細に記載されている：「景符銅葉を以て制し、博二寸、長さは博の二を加え、中に一竅を穿つこと、針芥の如し。方框を以て趺（台座）と為し、一端に設けて機軸と為し、令して開闔（開閉）すべし。其の一端を支え、其の勢いを使って斜に

倚り、北を高く南を下に、往来遷ず虚梁の中。日光を窮達すること、僅かに米許（粒）の如く、隠然として横梁を其の中に見る。旧法は一表の端で晷を測り、得る所は日体上辺の景、今横梁を以て之を取れば、実に中景を得、毫末の差も容れず」。意味は次のとおり：景符は銅の薄片で作成し、その幅2寸、長さ4寸、上面に針か芥子粒ぐらいの孔を穿つ。正方形の銅框を底座とし、底座の一つの側に転軸を装着し、銅薄片をこの軸を巡って転動するようにする。銅辺の一方を支え、それを北辺に高く、南辺に低く傾斜状態にし、横梁の虚影の中を移動させ、適合した角度と位置を選択して、安置する。小孔を通して圭面に達する日光は、米粒大の太陽の像を形成し、其の中にぼんやりと横梁の影が見える。過去の方法は一つの表で影長を測定するので、測り出すのは太陽円面上辺縁の表頂端への投影であるが、現在は横梁で以前の単表に代替するので、測り出す結果は太陽円面中心の投影を反映し、結果は少しの差も生じない。

郭守敬の描写から判ることは、景符は実際には物理学上のいわゆる小孔成像原理を利用し、日光の横梁投影に対し景符上の小孔を透過して圭面上に形成する横梁を含む太陽の像は、梁影で太陽像を平分した時、日面中心の影長が得られることである。過去に得られた影長は全て太陽上辺縁の影長であり、日面中心影長より若干短い。

景符を用いての測影は横梁影の適切な位置を精確に測ることが出来る。模擬実験から、景符がもし1.5～2mm移動すると、梁影が太陽像を両半に切分する対称度合いに著しい変化が生じ、このため、景符を用いての影長の測定は、2mm以内の精確さであろう。この精確度合いは空前と言える。

景符を利用しての測影は、基本的に表影が持つ「影虚而淡」の困難を解決し、大々的に高表測影の優越性を発揮した。具体的に分析すると下記の通りである。

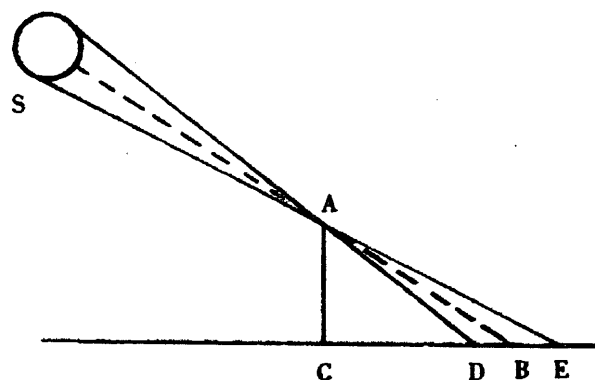


図 12 立竿測影における半影誤差

図の如く、S は太陽を表示し、その円面が人の眼に対してなす夾角は約 0.5 度、即ち $\angle DAE = 30'$ 、AC は測影に用いる 4 丈の高表、CD は太陽照射が高表上に形成する本影の影長、CB は太陽視円面中心が高表に投影し形成する影長。＜元史・天文志＞の記載によれば、郭守敬が測定して得たこの数値は 7 丈 6 尺 7 寸 4 分、即ち $CB = 7.674$ 丈、DE は物理学上の所謂半影区の影長で、影の端縁を模糊とさせ、影長の確定が難しく、測量中誤差発生の重要要素である。下面で DE を求める。

上図で已に $AC=4$ 丈、 $CB=7.674$ 丈は判っている。これから $\angle BAC$ を求めるには

$$\angle BAC = \arctan CB/AC = \arctan 7.674/4 = 60^{\circ} 28'$$

これから本影区影長を求める

$$CD = AC \times \tan (62^{\circ} 28' - 15') = 4 \times \tan 62^{\circ} 13' = 7.592 \text{ (丈)}$$

一步進めて全影長を求めるには

$$CE = AC \times \tan(62^\circ 28' + 15') = 4 \times \tan 62^\circ 43' = 7.752 \text{ (丈)}$$

故に半影区影長は

$$DE = CE - CD = 0.16 \text{ 丈}$$

ここから、景符を用いない場合、半影区の範囲は約1尺6寸、日面中心影長と日面上辺縁影長の差はこの数字の一半、即ち8寸。実際には、空気中の塵埃散射等の要素を考慮すると、測定結果の不確定性はこの数値より更に大きくなる。景符使用以後は、測定の絶対誤差は2mmまで低下し、測定精度は数百倍高まり、ものすごい成

就である。

伝統的立表測影の実践中、測定の精確性を高めるのに、一つには表身に高さを加えて、表影を増長させ、相対誤差を減少させた；一つには影長の読取りの精確性を増し絶対誤差を減少させた。郭守敬は高表を立て景符を作り両方面で突出した成就をなした。中国計量史上、記録するに値する。

4. 朔望月長さの測定

伝統暦法中、朔望月の長さは重要な要素の一つである。所謂朔望月とは月の月相が一回完全な円から欠又欠から円への変化の経過時間である。月は地球を廻って転じ、地球も又太陽を廻って転じ、三者の相対位置が刻々変化する。地球から見て、月が異なる位置にある時、形状も異なり、これを月相と言う。月が太陽と地球との間に在る時、それらは同時に東から昇り、月は背対した地球の一面で太陽に照射され、その黒暗半球が地面に対し、太陽の光輝は月を淹没する。この時刻を朔と呼ぶ。天文学上、朔とは月の黄経と太陽黄経が同じ時刻を指す。朔の後、月と太陽の距離が徐々に開き、太陽に照らさせた半球がゆっくりと現われてくる。開始時、人々は淡い蛾眉新月を見ることが出来る。日が推移するにつれ、月が人に見られる部分が逐次増大する。朔の後大体 15 日目に、月は太陽と地を隔てて相対の位置に運行し、人々は月を一個の明るい円盤と見る。これが満月であり、相応の時刻を望と呼ぶ。天文学上、望は月黄経と太陽黄経の相差が 180° の時刻を指す。

望が過ぎると、月面は次第に痩せ細り、月は日地に向かって連線方位に移り、最後には月は再び朔の位置に戻り、月相本身も欠から円又円から欠への完全な変化を一回経過する。この変化の経過時間が即ち一つの朔望月である。天文学上、朔望月は朔から朔或いは望から望に到る経過時間を指す。

朔望月の定義から、その時間の長さの測定方式は想像できる。例えば隣り合う2度の朔或い

は望の時刻を精確に測定すれば、朔望月の長さは自然に得ることが出来る。但し実際の操作はそんなに容易なものではない。何故なら朔の時刻は、人々は月相を観察出来ず、測定の法がない；望の月相は十分目に入るが、月円を観察して望の正確な時刻を判定することもそんなに簡単ではない。この外、更に別の重要な要素がある：朔望月の長さは固定不変なものではない（第二章 1 節「時間計量単位の確立」参照）。人々が平常言う朔望月の長さは、平均朔望月を指す。平均朔望月の長さは一、二度の朔或いは望の測定で得ることは誤差が非常に大きくなり不可能である。

平均朔望月の長さの認定には長期の観測統計が必要である。古人はこの数値を確定するとき、朔望月と回帰年の関係を考慮し、数学演算で結果を出した。この演算は閏周と回帰年の関係を利用している。所謂閏周とは、農曆で設ける閏月の周期を指す。現代観測数値によれば、朔望月の平均長さは約 29.5306 日、回帰年の長さは約 365.2422 日で、これらの間は整数倍関係にはない。従って 12 個の朔望月で 1 年とすると、暦法年と回帰年の長さに大きな差が生じる。暦年の平均長さを回帰年と可能な限り一致させるため、一定の間隔毎に 1 個の閏月を加える必要がある。閏月のある年は、1 個の暦に 13 個の朔望月がある。而閏周は一定数の年内に置かなければならない閏月数を指す。回帰年の長さを知れば、閏周を知り、朔望月の平均の長さも推算出来ることは明らかである。

閏周の確定には実際の天象観測と資料の累積が必要であり、先ず朔望月から暦譜の並べ方を掌握しなければならない。伝統暦法には一つの特徴があり、暦日と月に厳格な対応関係を要求し、これには天象観測が必要で、観測結果を基に、暦譜を並べる。即ち暦日を配し、朔望月を置く。朔望月配置規律を掌握し、累積の数値が増加すれば、閏周が総結出来る。閏周が有れば、回帰年の長さも立表測影方法から得ることが出来、平均朔望月の計算も簡単である。

中国古代から伝わる最も早い朔望月数値は 29 日と 499/940 日で、この数値は上述の方法で推算出来る。これは古い＜四分暦＞の数値である。当時、人々は回帰年の長さは 365 日と 1/4 で而閏周は 19 年 7 閏と認識していた。19 年 7 閏とは、19 個の回帰年は 19 個の暦年に 7 個の閏月を加えたものであることを指す。各暦年は 12 個の朔望月で、19 個の暦年は 228 個の朔望月、7 個の閏月を加えると 235 個となる。この数値を基に、平均朔望月の長さが推算出来る。

$$19 \text{ 個回帰年} = 19 \times 365 \text{ 日} + 1/4 \text{ 日} = 6939 \text{ 日} + 3/4 \text{ 日}$$

$$235 \text{ 個朔望月} = 19 \text{ 個回帰年} = 6939 \text{ 日} + 3/4 \text{ 日}$$

$$1 \text{ 個朔望月} = 6939 \text{ 日} + 3/4 \text{ 日} \div 235 = 29 \text{ 日} + 499/940 \text{ 日}$$

29 日と 499/940 の数値が＜四分暦＞の回帰年と閏周から推算できることが証明される。推算で得たとはいえ、回帰年と閏周の二つの数値は、長期的な天文観測を基礎として得たもので、そこから出発して推算した朔望月数値は、一定の精度が保証できる。上述の＜四分暦＞の朔望月値を小数化すると、29.530851 日となり、現今の測定値 29.530588 日と比べても、誤差は僅か +0.000263 日、相当に精確である。

但し、閏周と回帰年を利用して朔望月数値を推算する方法には、まだ欠陥がある。19 年 7 閏のこの数値は歴史上春秋中期から南北朝時期まで用いられたが、単なる約数であり、完全に朔望月を推算するには、回帰年と朔望月の精度向上面で制限を受ける。具体的に言うと、19 年 7 閏は 19 個の回帰年は 235 個の朔望月を包含することを意味し、朔望月の長さは 19 個の回帰年が包含する期日を 235 で割ったものに等しい。235 という数値は不変である。このように、回帰年測定数値の改変が直接朔望月の推算結果に影響し、反対も亦然りである。例えば東漢末年の天文学家 劉洪は回帰年長さを 365 日と 145/589 日に減少し、伝統的な 365 日と 1/4 日より更に精確にしたが、これから得られる朔望月数値は 29 日と 773/1457 日、即ち 29.530542 日、この数値は実際の朔望月長さより小さくなり、その誤差は -0.000046 日である。三国時魏国 楊偉

の<景初曆>の数値は別の趨勢を示し、彼の取った朔望月は 29 日と 2419/4559 日で、即ち 29.530599 日、誤差は僅か+0.000011 日に低下している。但し回帰年数値は逆に 365 日と 455/1843 日、即ち 365.24688 日に増加し、劉洪の回帰年数値誤差より大きくなった。つまり、19 年 7 閏の一閏周の制限から、人々の回帰年と朔望月長さの追及には一定の限度があり、この限度を超えると、回帰年誤差が低減すれば、朔望月誤差は増大し、逆に朔望月誤差が低減すれば、回帰年誤差は増大し、両者は一種の相互牽制の状態にあった。

このような状況になるのは、朔望月と回帰年の間は簡単な数値関係にはないということで、19 年 7 閏は不正確で、更に精確な閏周が必要であった。果たせるかな、412 年、北凉の趙歐（この字は歴史上ここに見られるだけで、発音も今は不明）は、19 年 7 閏の固定概念を打破し、600 年 221 閏の新閏周を創造し、回帰年と朔望月の両数値を過去のものより精確にした。祖冲之は更に一步進めて閏周を 391 年 144 閏に改善し、彼が測算した回帰年長さとこの一新した閏周を用いて、推算した朔望月の長さは 29.530592 日となり、誤差は僅か+0.000004 日で、空前の精確さと言える。

但し、新閏周への追求には限度が無い。このような状況から、古人に朔望月と回帰年の間には、簡単な数値関係では無いという事実が、徐々に認識され、次第にこの方法は放棄されていった。唐代 李淳風の<麟德曆>から面倒なやりかたで新閏周を推算することを止めた。彼らが採用したのは、日月食観測を通して朔望月数値を帰算する方法である。

定義によれば、朔望月の長さは隣り合わせる二度の朔（或いは望）間の時間間隔である。精

確な朔（或いは望）の時刻を定めさえすれば、朔望月の長さが推算できる。但し朔の時刻には人々は月を見ることは出来ず、測定できない。このため、朔を測定する方法を探し出せば問題も解決する。この考え方から出発して古人は日月食に思い至った。地球上から見上げた場合、日食は月が太陽を遮蔽した結果で、この種の遮蔽は月が地球と太陽の連続線の位置上に運行した時に始めて発生し、しかもこの時刻は正に天文学で定義する朔である。そこで、日食から朔が判定できる。二度の日食発生の時刻が判れば、その日食間の包含する月数でその時間間隔を割れば、平均朔望月の長さを得ることが出来る。月食を用いれば望が判定出来、これから同様に朔望月の長さが算出出来る。しかも中国古人は日月食を特別重視し、古籍に日月食に関する観測記録を大量に留めている。このため、人々は歴史資料の統計から帰算でき、直接朔望月の長さを得ることが出来る。例えば、唐代天文学家一行は<大衍曆議・合朔議>の中で提示している：「新曆本は<春秋>の日食、古史の交食加時及び史官候簿の詳しい所、其の進退の中に稽め（留め）以て常率を立てる」。新曆とは即ち<大衍曆>を指す。意味は次のとおり：<大衍曆>の朔望月の長さは<春秋>上の日食記録、古代史書上記載の日月食発生時刻及び天文官員観測記録の統計を通じ、それらの消長変化を考察して得た。一行が提示した後は、日月食観測記録から朔望月長さを推算するのが、中国古代天文学の朔望月長さ計算の主要な方法になった。

中国古代曆法中、朔望月数値の最も精確なものは北宋 姚舜輔<紀元曆>の 29.530590 日、誤差+0.000002 日で、同時代の西方水準を遥かに超えている。