

## 18 世紀末の天文方製作の象限儀管見

嘉 数 次 人 \*

### 概 要

天体の地平高度を測定する観測機器の一つである象限儀(四分儀)は、日本においては江戸時代から使用された。その中で、18 世紀末には、間重富ら麻田学派の天文学者が中心となって改良を加えたタイプの象限儀は、当時の国内で使用されていたものに比べ精度が飛躍的に向上したことが知られている。同タイプの象限儀については、伊能忠敬所用の中型象限儀が現存しているほか、天文方が編纂した『寛政暦書』に詳しい解説があり、これらから詳細を知ることが可能である。本稿では、『寛政暦書』の記述を中心に、麻田学派による改良点を管見する。

### 1. 象限儀概要

象限儀は四分儀ともいい、天体の高度を測定するのに用いる観測機器である。円を 1/4 に分割した扇型をした本体の円弧部分に角度目盛が刻まれており(ここでは象限盤と呼ぶ)、そこに目標天体を導入する照準器がついていて、高度を測定する。

日本では、近世から文献に登場し、1618 年頃に成立した池田好運の『元和航海書』に「クルワンテ」として観測機器の図が描かれているのをはじめ、18 世紀半ばの宝暦改暦時には星尺や垂剣と呼ばれる儀器が使用されているが、これらも象限儀の一種といえる<sup>(1)</sup>。

18 世紀末、大坂の間重富と高橋至時はこれまでのものを改良し、高精度の象限儀を製作した。寛政の改暦事業がスタートした 1797(寛政 9)年には、半径六尺五寸の大象限儀を作って京都に設置した天文台で用い、改暦事業終了後は江戸の浅草司天台に移して使用したという<sup>(2)</sup>。この象限儀については、『寛政暦書』に図と解説文があることから、その構造や使用方法を知ることが可能である。

間重富らが改良したタイプの象限儀は複数作られ、麻田学派らをはじめとした研究者が使用したであろうが、その製作数や使用者の詳細は分かっていない。伊能忠敬は半径六尺の大象限儀と三尺八寸の中象限儀を所有していたが<sup>(3)</sup>、そのうちの中象限儀は伊能

忠敬記念館所蔵品として現存しており、その特徴を確かめることができる。また、大谷亮吉が『伊能忠敬』においてその構造を詳しく調査・研究している。

本稿では、このタイプの象限儀において凝らされたいくつかの工夫について管見する。

### 2. 象限儀の目盛

#### 2-1. 対角線目盛と角度読み取り精度について

間重富らが改良した象限儀の特徴の一つが、対角線目盛の採用である。対角線目盛は、中国の『新製靈台儀象志』、『靈台儀象志図』に解説と図が掲載されており、その影響を受けた間重富らが採用したことが知られている。

『寛政暦書』によると、大象限儀には1分角まで読み取ることができる目盛が刻まれていた<sup>(4)</sup>。伊能忠敬所用の中象限儀も同様に1分角までの目盛である。また、伊能忠敬所用の中象限儀に関しては、大谷亮吉が詳しく調査しており、それによると円弧は1度角を6分割しており、10 分角まで刻まれている。そして円弧は 11 本の同心円が描かれ、その隣り合った目盛の最内同心円から最外同心円に向かって斜線が引かれている。この斜線がそれぞれに同心円と交わることによって、最小目盛(10 分角)がさらに 10 分割されることから、最終的に1分角まで直読することができる(写真2)。

さらに、視準器側に取り付けられた角度読み取り用の指標を用いれば、その半分の 30 秒角まで直読することができる。写真3は中象限儀(レプリカ)の読み取り

\*大阪市立科学館  
kazu@sci-museum.jp



写真1. 中象限儀のレプリカ

大阪市立科学館にある伊能忠敬所用の中象限儀のレプリカ。

等に細分することが可能となる。一方、象限儀の場合は目盛が円弧を切っていることから同心円を描く際に、11個の円の半径を一定間隔で大きくしていきながら描くと、対角線がきちんと10等分されずに、わずかながら誤差が生じる。そのため、間重富らは、同心円半径の間隔を見直している。

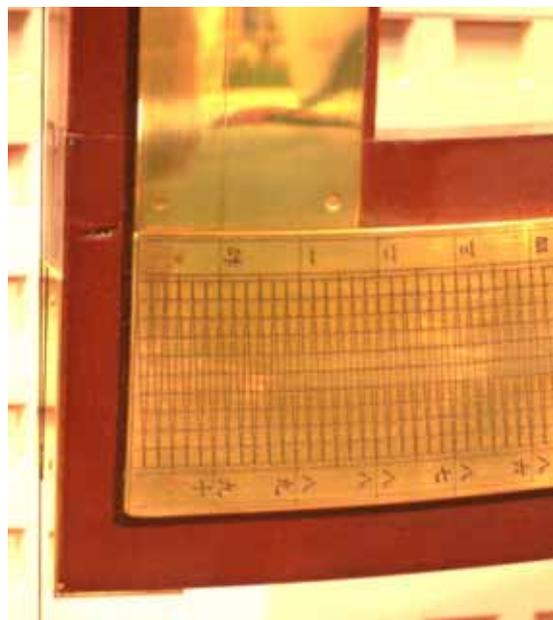


写真2. 中象限儀(レプリカ)の対角線目盛

ダイアゴナル目盛部分の拡大写真。目盛盤にある「初」とあるのは0度のことで、「一」が1度。その間が6分割されているので、ひと目盛は10分。そこにダイアゴナル目盛があるので、1分まで直読可能となる。さらに目分量を用いれば、数秒まで読み取ることができる。

用指標部分を拡大したものであるが、0～10までの11個の目盛が刻まれているが、この目盛は象限盤の目盛にある11の同心円のそれぞれに対応する位置に来る。つまり、この読み取り用指標と象限盤の斜線が一致したところの数値を読み取れば、1分角単位の直読ができる。さらに、読み取り用指標には11本の目盛のそれぞれ半分のところ短い指標線が刻印されており<sup>(5)</sup>、これを用いれば30秒角までの直読が可能になるのである。従って、トータルでの直読読み取り精度は30分角である。

『寛政暦書』巻二十の儀象図では、大象限儀にも同様の装置が付けられており、中象限儀と同様の構造が図示されている。また、同書巻二十三の儀象誌では、この目盛を「銅尺」とよび、その構造は「象限盤の刻まれた十分割の同心円にしたがって目盛線(横線)を二十本刻み、対角斜線が(銅尺を)切る所を調べるのである。(随環面之十界圈刻横線二十以檢斜線之切處也)」<sup>(6)</sup>とし、十分割された同心円にしたがって二十の横線を刻むとあることから、読み取り精度は中象限儀と同じ30秒とすることができる。

## 2-2. 対角線目盛の改良

対角線目盛を作る場合、直尺の場合は目盛を分割するための平行線を等間隔に引くことにより、目盛を均

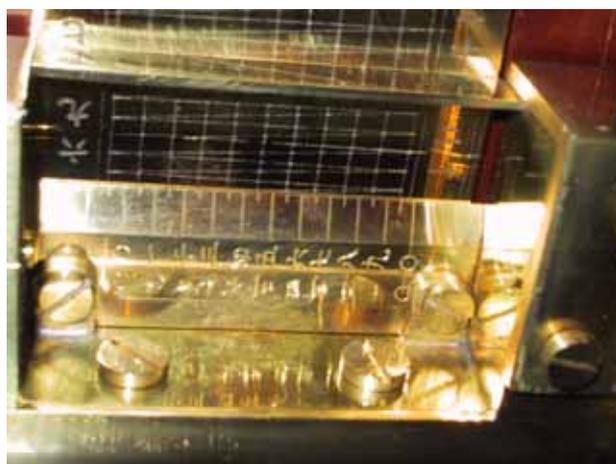


写真3. 中象限儀の指標読み取り部

対角線目盛に刻まれたそれぞれの同心円に対応する指標目盛と、その間に短い目盛が刻まれている。

『寛政暦書』巻二十五では、対角線目盛の原理を解説した後、以下のように続けている

しかしこの方法は、直尺の場合は言うまでもなく理にかなっているが、円弧に関してはそのままでは理が通じない。なぜならば 10 分角ごとに引かれた目盛線はすべて円の中心を向いていて平行でない。また最外弧(底線)は円弧を切るものであり、もとの線が直線ではないのであれば、たとえ円が大きく、それを分割した区分がとても細かいものであるとしても、車輪形の理論の適用を免れない。だから用いることができないのである。

(然此法於直尺上則理固適矣於弧遂不通何則每十分内線皆向環心其線不平行又底線者所截弧線元非直線則雖環至大而分区甚細而理遂不免車輪形故不能通也)<sup>(7)</sup>

この理由から、最外円と最内円の間にある9本の同心円の半径は、正確に角度を等分に分割するように計算からもとめている<sup>(8)</sup>。

この補正は、伊能忠敬所用の中象限儀の目盛にも適用されている。大谷亮吉の調査は以下のように述べている。

但し茲に注意すべきことは一尺の度器に於いては十一箇の平行直線を劃するに當りて其間隔を一様ならしむるを以て足ると雖も象限儀に於ける十一箇の同心圓は各圓半径の差を一定の法則に従ひ適當に定むるに非ざれば徑線間に施せる對角斜線をして  $S_1S_2 \dots S_9$  弧と夫々嚴密に  $1'2'$   $\dots 9'$  の角度に相當する點に於て交叉せしむる能はざることなり。而してこの問題は當時十分に研究せられたるものにして其計算の方法を例示せる紙片伊能家に遺存せるのみならず實物につきて檢するも同心圓の半径の差は最内圓より順次に一分三二、一分三三、一分三四、一分三五、一分三六、一分三七、一分三八、一分三九、一分四〇、一分四一なる値を取り能くこの條件を満足せるを見るべし。<sup>(9)</sup>

つまり大谷は、中象限儀に描かれた同心円半径の間隔を調査し、また伊能家にあったという計算を記した資料や『寛政暦書』儀象誌をも参考に行っているのを見たと「この問題は當時十分に研究せられた」と述べている。

ところで、対角線目盛の改良のアイデアであるが、間や高橋による独自の思い付きか、何かを参考にしたのかは不明である。彼らが参考にした『新製靈台儀象

志』には詳しい言及はないが、『崇禎暦書』中の『測量全義』巻十には、対角線目盛の精度についての言及があり、そこでは儀器の目盛は円弧を分割したものであるから、同心円の最内円と最外円の弧の長さは異なっているため、直尺での対角線目盛と比べて差が生じているのではないかとする。そしてその回答として、同心円の最内円の半径を最外円の半径の  $49/50$  とした場合の、最外円と最内円の円弧の長さを示し、その長さの差は角度の1秒に相当するとして、これは観測や推算に影響のない程度としている<sup>(10)</sup>。従って、この記述を見た間重富らが、その小さな誤差を見逃さず、対角線目盛による均等に角度を分割できるように同心円の半径を調整した可能性が考えられる。同時に、象限儀に望遠鏡を取り付けたことも理由の一つになっている可能性がある。

### 3. 象限儀の視準望遠鏡について

麻田派が改良した象限儀の視準器(『寛政暦書』では、定鏡版と呼んでいる)には、望遠鏡が組み込まれている。宝暦改暦時に編纂された『曆法新書』に記載された同種の観測機器の図には望遠鏡は見られないので、幕府が採用したものとしては最も早いものかもしれない<sup>(11)</sup>。

ここで特徴的なのは、視準望遠鏡の向きを調整する装置が備えられていることである。写真4は中象限儀のレプリカの当該部分を示したものであるが、視準器(



写真4. 中象限儀の視準望遠鏡取り付け部  
望遠鏡を固定するバンドには押しネジが3本取り付けられていて、ネジを調節することにより視準望遠鏡が向く方向を微調整することが可能となっている。

定鏡版)に四角形の金属製の鏡筒バンド2本が取り付けられており、その中に四角の筒形の視準望遠鏡を収めるようになっている。それぞれのバンドの3辺にはネジ穴があけられていて、そこの挿入したネジで望遠鏡を押さえつけて固定する。望遠鏡の向きの微調整は、このネジを締めたり緩めたりすることにより可能となっている。なお、大象限儀についても同じ装置があり、『寛政暦書』卷二十儀象図には定鏡版が図示されているが<sup>(12)</sup>、定鏡版には板が取り付けられており、その板の上に鏡筒バンドが設置されている点が異なっている。

このような望遠鏡の微調整装置は、現代でも小型の天体望遠鏡のファインダーなどで採用されていて、天体観測で使ったことがある人には馴染みのあるものといえる。

この装置については、管見する限り『壺台儀象図』や『儀象考成』には見られないことから、間や高橋どのようにしてこのアイデアを考え、採用したのかについて疑問が残る。『寛政暦書』儀象図に掲載された他の儀器にも同じような構造を持ったものは見られない。おそらくは西洋書にある図か、西洋から輸入された望遠鏡などの観測機器を参考にして作ったものと思われるが、検討すべきであろう。

そのほか、視準望遠鏡の鏡筒に扉が付けられており、夜間にはロウソクの灯りを入れて十字線を見やすくするような工夫がされている<sup>(13)</sup>。

#### 4. おわりに

以上、間重富らが改良した象限儀には、観測精度を高める複数の工夫が加えられている。その他、ここで挙げなかったものとして、大象限儀の視準望遠鏡の筒先には、手元から鏡筒先端の蓋を開閉できるような装置が付けられている。また、象限儀を正しく水平・垂直に設置するための水準装置も取り付けられている。本稿では象限盤の目盛と視準望遠鏡の管見にとどまったが、さらなる改良・工夫点を見出し、それらが麻田学派のオリジナルな発想か、他の儀器等に採用されていたものを利用したのかを知ることにより、当時の技術の水準や流布していた情報などの様子を知ることができるであろう。

#### 注

- 1: 寛政期以前の象限儀については、渡辺敏夫『近世日本天文学史』下巻、521～526 ページ、恒星社厚生閣、1987年。吉田忠「『新製壺台儀象志』の受容」、陳捷編『医学・科学・博物 東アジア古典籍の世界』所収、150～152 ページ、誠勉出版、2020年、にある。
- 2: 『寛政暦書』卷二十三、第 27 丁オモテ、「寛政改憲之初於京師造本儀及子午線儀垂揺球儀以備試測之用事畢移之江戸測量所」。なお、本稿においては『寛政暦書』は国立天文台所蔵本(和漢書目録:天文・暦書、40)を用いた。
- 3: 大谷亮吉『伊能忠敬』(復刻版)、352 ページ、名著刊行会、1979年
- 4: 『寛政暦書』卷二十三、第 27 丁ウラ、「其弧邊用對角線法刻一分線」
- 5: 前掲3、大谷、360～361 ページに図と説明がある。ここでは、短い分割線により「以て1' 以下の目測を行ふに便せり」と表現している。
- 6: 『寛政暦書』卷二十三、第 28 丁ウラ
- 7: 『寛政暦書』卷二十五、第 35 丁ウラ
- 8: 対角線目盛の同心円半径の計算方法については、嘉数次人「江戸時代の天文学【8】」、『天文教育』Vol.20、No.5(2008年9月号)、16-21 ページ、に詳しい。
- 9: 前掲3、大谷、355 ページ
- 10: 『測量全義』卷十、第 26 丁ウラ～28 丁オモテ。ここでは薄樹人主編『中国科学技術典籍通彙』天文卷第八分冊、河南教育出版社、1106～1107 ページ、を利用した。
- 11: 前掲1、吉田、151～152 ページ。また、間重富らが作った象限儀と同時期のものとして、仙台藩の天文学者が製作・使用したものが現存しており、宮城県の仙台市天文台に展示されている、制作年代や製作者名を記した銘はない。戸板保佑(1708～1784)の弟子が製作したものと考えられている。
- 12: 『寛政暦書』卷二十、第 15 丁ウラ
- 13: 前掲3、大谷、357～358 ページ。『寛政暦書』卷二十三、第 29 丁ウラ、「筒側開玻璃窓窓有活扇夜則開以引燭光」