

連載

江戸時代の天文学【8】

江戸幕府の天文学(その 7)

嘉数 次人 (大阪市立科学館)

1. 間重富の天文学(はじめに)

前回まで数回にわたり、江戸時代最高の天文学者と称される高橋至時の足跡を紹介しました。高橋は、停滞していた日本の天文学のレベルを明晰な頭脳で一気に高めました。しかし、その業績は一人で成し遂げられたものではありません。麻田剛立という良き師匠と、間重富というハイレベルな盟友が大きな影響を与えていました。今回は、高橋とともに天文学の近代化を推し進めた間重富(はざま しげとみ)にスポットを当ててみます。

2. 天文学を志す

間重富は、通称を十一屋五郎兵衛ともいい、1756(宝暦 6)年に間家の第六男として大阪で生まれました。家業は十一屋という質屋で、兄が相次いで亡くなったため、父が没した1771(明和 8)年に間家を継いでいます。ちなみに十一屋という屋号は、蔵が 11 あったことからきているそうですが、重富はのちに 15 に増やしたことから「十五楼」という雅号を用いています。また彼は、大阪質屋仲間の年寄も勤めるなど、大阪を代表する商人の一人でした。

重富は幼い頃から機械に興味を示し、11,2歳の頃には渾天儀を作ったという話が伝わっています。その後、30歳を過ぎた頃に麻田剛立(1734~1799)に入門し、ほぼ同じ時期に入門した高橋至時とともに麻田一門の高弟として活躍し、やがて寛政改暦に携わるようになります。

3. 観測機器の開発・改良

高橋至時と間重富を現代の言い方で表すと、高橋が理論天文学を得意とした「理論屋」であつたのに対し、間重富は「観測屋」で、観測技術に長けていました。

師の麻田剛立は、中国の天文書『新製靈台儀象志』[1]にある観測機器の記事をもとに、振り子の周期で時間を計測したり、象限儀(いわゆる四分儀)を作成したりと、観測の精密化に力を注ぎました。間重富はそれをさらに発展させ、観測機器の設計開発や改良を行ない、さらには豊富な財力で京都の職人戸田東三郎を養成して機器の製作を行ないました。ここでは、その中の代表的なものを見てみましょう。



図 1 垂揺球儀(レプリカ)。大阪市立科学館所蔵。

3.1 垂揺球儀

間重富の発明で代表的なものが、天文観測用振り子時計「垂揺球儀(すいようきゅうぎ)」(図 1)です。麻田剛立らの天文家は、尺時計(いわゆる和時計の一種)などの機械時計を用いていることが多かったのですが、当時の機械時計は精度がさほど高いわけではなく、精密な時間計測はできませんでした。

そういった中で、18 世紀後半に麻田剛立が使い始めたのが『新製霊台儀象志』に紹介されていた「垂線球儀」です。これは単なる振り子で、天井から細線を吊るし下端に錘の球を取り付けて振動させるもので、その振動数を利用して時間を計測するのです。ガリレオが発見した振り子の等時性を利用したこの時刻測定法は、『新製霊台儀象志』が刊行された 17 世紀においては新しい技術でしたが、振り子が振れた回数は自分でカウントしなければならないことや、振り子の振動が減衰するたびに手で励起しなければいけない事などから、長時間の観測に用いることは困難でした。さらに『新製霊台儀象志』を見ると、「振り子を振らせ始める時には、振動幅を 45 度以内になるようにする」とか、「振動が減衰してまさに止まるといふ頃に、振り子を持って振動を励起させる」というような用法も細かく記されており、扱うには一定の習熟が必要でした。

そこで間重富は、和時計の構造に改良を加えることによって振り子式の機械時計である垂揺球儀を開発したのです。ちなみに垂揺球儀の特徴は、文字盤が現在の時計のような時刻を表示するのではなく、振り子の振動数を表示する点です。つまり、振動カウンターといっても良いでしょう。ですから、垂揺球儀の文字盤をみても、現在時刻を知ることはできないのです。

ではここで、垂揺球儀を使って、天体現象が起こった時刻を知る方法の一例を紹介しましょう。まず、ある日の太陽南中を観測し、

南中した瞬間のカウンターの表示した数を読み取ります。そして翌日にも太陽が南中した瞬間の表示数を読み取ります。これにより、2 回の南中の間に振り子が振動した回数を計算し、1 太陽日(24 時間)の振動数とします。そして、この南中の間に起こる天体現象の瞬間のカウンター表示数を読み取っておき、1 太陽日の振動数との按分により真太陽時での時刻を求めるのです。

具体例で見てみましょう。以下で紹介するのは、天文方・高橋家で行われた、1805(文化 2)年 5 月 1 日夜のイオの掩蔽(ガリレオ衛星のイオが木星本体の後ろ側に入る現象)の記録です。

五月朔日	午中太陽中心	690,655.5
	木星第一小星視初	711,325
五月二日	午中太陽中心	747,483

ここに見られる「木星第一小星」というのはイオのことで、「視初」は掩蔽の始まりのことです。また、「午中太陽中心」とは太陽の中心が子午線を通過した瞬間を表しています。また各現象に続く数字は、その瞬間の垂揺球儀のカウント数です。カウント数は、振り子が一往復すると 1 と数えるため、半分の場合は 0.5 となります。

ここからが計算です。まず 5 月 2 日の南中でのカウント数 747,483 から 5 月 1 日の南中時の数 690,655.5 を引いた数 56827.5 が、1 太陽日つまり 24 時間のあいだの垂揺球儀カウント数となります。次に、イオの視初の瞬間カウント数 711,325 から 5 月 1 日の太陽南中時の数 690,655.5 を引いた数 20669.5 が、太陽南中からイオの視初までの時間の垂揺球儀カウント数になります。そこで、

$$56827.5 : 24 \text{ 時間} = 20669.5 : x \text{ 時間}$$

として比例計算すると $x \div 8.7294$ となり、時分に換算した 8 時間 43 分 46 秒が、5 月 1 日の太陽南中からイオの視初までの時間となります。そして、太陽南中の瞬間が午後 0 時に

なりますから、イオの視初は午後 8 時 43 分 46 秒に起こったと求められます。

こんな風に、研究者たちは手間をかけて現象の時刻を求めていましたが、垂揺球儀は安定したメカニズムにより 1 日の誤差が ± 3 秒程度であったため、かなり高精度な観測が可能となりました。そして、麻田学派の天文学が全国へ伝わるようになると、垂揺球儀は地方でも使用されるようになっていき、幕末に西洋から機械時計が輸入されるようになって、天文研究者たちは垂揺球儀を用い続けました。

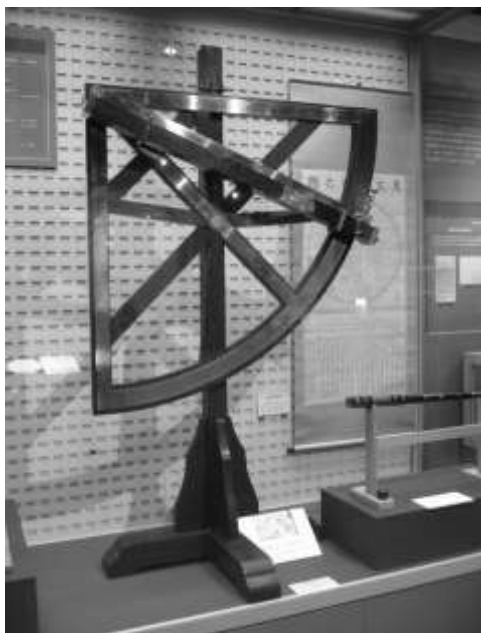


図 2 象限儀。大阪市立科学館所蔵。伊能忠敬が全国測量に用いたもののレプリカで、半径は 3 尺 8 寸(約 1.15m)。支柱は仮のもので、実際の観測に使う時には、象限儀が任意の方向に向くように、象限盤を固定する支柱の軸が回転するようになっていた。

3.2 象限儀

(1) 象限儀とダイアゴナル目盛

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、一言で言うと

天体の高度測定用の分度器とでも表現すればよいでしょうか。象限儀は 18 世紀始めころから日本でも使われていましたが、間重富は『新製霊台儀象志』に紹介されている新しい技術を取り入れるなどの改良を加え、より高い精度で角度を読み取ることができるようにしました。

図 2 は、高橋至時の弟子である伊能忠敬が地図測量の際に用いた象限儀のレプリカで、間重富の開発したものと同型のものです。写真右側の 1/4 円弧の部分が高角度を読み取る目盛盤です。円弧の中心(象限儀左上)から円弧に向かってのびている筒は望遠鏡を組み込んだ照準器で、円弧側が接眼レンズになっています。照準器は円弧中心を支点として動かすことができ、観測の際は、望遠鏡の視野中心に目標天体を導入し、目盛盤上の角度を読み取ります(接眼部には十字線が張ってある)。

角度目盛盤の最小目盛は $1/6$ 度(10 分)で刻まれています。重富が作った象限儀は、さらに細かい角度まで読み取ることができるダイアゴナル目盛(対角斜線目盛とも呼ぶ)が採用されている点に特徴があります。図 3 はダイアゴナル目盛部分の拡大写真です。角度目盛部分には 11 の同心円が描かれ、さらに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ます。この斜線が、それぞれの同心円と交わることによって、最小目盛がさらに 10 分割されるため、最終的に重富の象限儀は、 $1/60$ 度つまり角度の 1 分まで直読できるのです。

(2) ダイアゴナル目盛の改良

ダイアゴナル目盛はチコ・ブラーエがはじめて用いたもので、日本には『新製霊台儀象志』や『崇禎暦書』などの中国書を通じて紹介され、それを見た間重富が採用したわけですが、彼は書物の内容をそのまま採用したの

ではなく、目盛盤の作成方法に独自に改良を加えています。

象限儀で採用されたダイアゴナル目盛の場合、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描くと、対角線ではきちんと 10 等分されず、わずかに誤差を生じてしまうのです。この点について『崇禎暦書』は、その誤差の値はわずかであるから、ダイアゴナル目盛の同心円半径の差は等間隔でもよいと述べています[2]。しかし、間重富はその誤差に眼をつぶらず、対角斜線目盛で角度が正確に 10 等分できるように、それぞれの半径を計算して目盛盤を製作したのです。

寛政暦の理論や観測についてまとめた『寛政暦書』巻 25 には、ダイアゴナル目盛の同心円の描き方が具体的に示されていますので、その記述に沿って紹介していきましょう。図 4 は象限儀の角度目盛の最小単位(中心角 $10'$)を取り出したものです。点 O を象限儀の円弧の中心点とし、円弧 S_0 はダイアゴナル目盛の一番内側の同心円弧、円弧 S_{10} は一番外側の同心円弧とします。また、中心 O から円弧上の点 A と B に向かってそれぞれ引いた直線が目盛盤上の角度線で、 $\angle AOB$ が最小目盛である $10'$ です。そして直線 AB がダイアゴナル目盛の対角線です。

ではここで、円弧 S_0 から S_{10} の間に描く、目盛を 1 分ごとに分割するための同心円弧 $S_1 \sim S_9$ の半径を求めていきましょう。まず、 $\triangle OAB$ について、 $\angle O = 10'$ 。また AB および OB の長さは設計値が与えられるので、正弦定理より、

$$\sin A = OB \times \frac{\sin O}{AB}$$

となり、 $\angle A$ の値が得られ、三角形の残りの角 $\angle B$ の値も得られます。

次に点 O から直線 AB 上に向かって、 $\angle AOA_1 = 1'$ となる直線 OA_1 を引きます。ここで

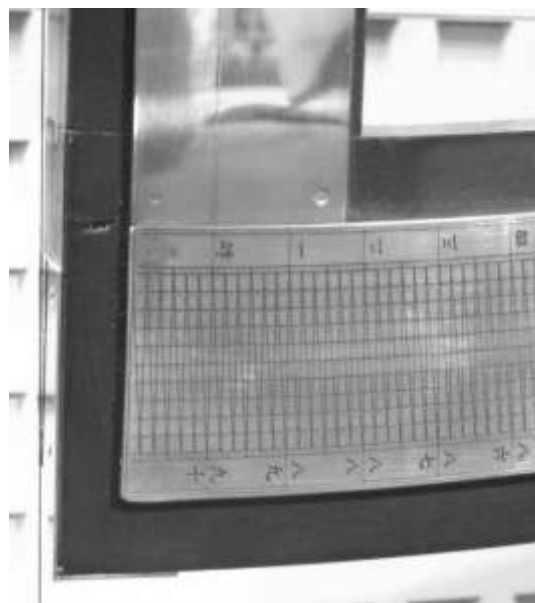


図 3 ダイアゴナル目盛部分の拡大写真。目盛盤にある「初」とあるのは 0 度のことで、「一」が 1 度。その間が 6 分割されているので、ひと目盛は 10 分。そこにダイアゴナル目盛があるので、1 分まで直読可能となる。さらに目分量を用いれば、数秒まで読み取ることができる。

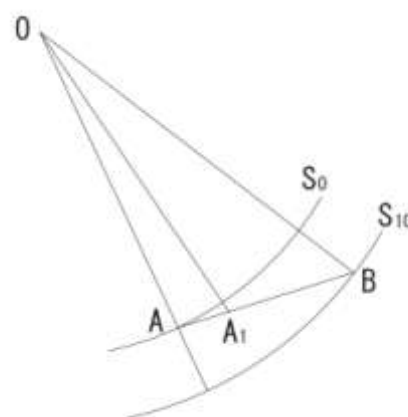


図 4：ダイアゴナル目盛の同心円描画法の概念図。象限儀の角度目盛の最小単位(中心角 $10'$)を取り出したもので、もちろんデフォルメして描いています。

$\angle A_1OB$ を考えると、
 $\angle OA_1B = 180^\circ - \angle B - \angle A_1OB$

で、 $\angle A_1OB$ は $9'$ ですから、再び正弦定理を用いて

$$OA_1 = \sin B \times \frac{OB}{\sin \angle OA_1B}$$

として得られた OA_1 の値が $\angle AOA_1 = 1'$ となる同心円の半径となります。

このようにして、 $\angle AOA_2 = 2'$ となる直線 OA_2 を求めて…、というふうに、次々と半径を求めていくわけです。

ちなみに、大正時代に伊能忠敬の象限儀の実物を調査した大谷亮吉は、ダイアゴナル目盛の同心円の半径を測定し、計算どおりに描かれていることを確認して[3]、重富による妥協のない仕事ぶりが改めて浮き彫りにされました。

4. 寛政改暦への準備

4.1 『暦象考成後編』の入手

麻田剛立に弟子入りした高橋至時と間重富は、麻田門下の高弟として実をつけていきました。寛政年間に入った頃の 3 人は、研究面においては共同研究者であったともいわれる程です。そのような時代における間重富の業績は、中国の最新天文書『暦象考成後編』の入手です。

『暦象考成後編』は、ケプラーやカッシーニの研究成果が紹介された当時最新の中国天文書でしたが、日本に輸入されたのはわずか二、三部にすぎず、しかも幕府の書庫などに秘蔵されるなどして研究者の間には全く広まらなかったため、内容をマスターした者もないという状況でした。そんな幻の天文書を間重富は「とある筋」から入手することに成功したのです。「とある筋」が誰だったのかは不明ですが、家業を通じて長年親交のあった桑名藩主・松平忠和であったと推測されています[4]。幕府の天文方たちが十分に理解し得なかった『暦象考成後編』を入手し、ケプラー

一の楕円理論などをマスターした麻田、高橋、間の 3 人は、当時における国内最高の研究者集団になったのです。そして、彼らが間接的ながらも西洋天文学に接して、精密な観測機器を用いて精度の高い観測データを集め、それを理論にフィードバックするという西洋近代科学の基本を身につけたことで、日本の天文学の近代化が始まったといえます。

4.2 寛政改暦の情報収集

間重富は、有力な商人として持っていた人脈や政治的な手腕を十分に利用して、麻田学派の発展に努めるという、研究者の中でも異色の活動を行ないます。

まず彼は、桑名藩主らとの交流を通じて、幕府が改暦の意思を強く持っていて、その際には担当する人材を広く求めるつもりだという情報をキャッチしていました。そして、改暦事業が動き出した時は、麻田剛立が任命されるだろうということを察知して、さらなる情報を求めるために、京都で暦を司る土御門家に入門します。国内で最もレベルの高い研究をしている麻田学派の研究者としては、古い学風の土御門家から教わることは何もないのですが、改暦情報を収集するという目的のためにわざわざ入門するのですから驚きです。

そして 1795(寛政 7)年 3 月 18 日、幕府は麻田剛立ではなく、高橋至時と間重富に対して改暦御用による江戸出府を命じます。これは脱藩した身の麻田が幕府の仕事をする意思がなかったことによるものですが、こういった情報も間重富を通じて内々に幕府当局へ流れた結果だと考えられます。

4.3 改暦事業への参加

暦学御用で江戸出府を命じられた間重富は、病気のため 5 月 16 日になって大阪を出発、6 月 8 日に江戸の頒暦御用所にて御用を命ぜら

れました。ちなみに、出府中の間重富には手当として五人扶持ならびに年間 25 両が月割にて支払われました。一方、武士の身分であった高橋至時の出府当初の手当は三人扶持ならびに年間 15 両で、何と間重富の方が良い待遇だったのです。この点から、幕府がいかに重富を信頼していたかがわかります。

さて、江戸で再会した高橋と間は、さっそく持参した垂揺球儀や子午線儀など最新式の観測機器類を用いて 6 月 17 日の月没帯食を観測しました。また、当局から古今の暦法の精粗や最適の暦法について問われ、『暦象考成後編』の法が一番良いと報告しました。高橋らの報告を受けた幕府は、西洋暦法の加精校合を行ない、暦法の具体的検討を行なうにあたっては、間重富と高橋至時も天文方一同と同席で行なうよう命を下し、10 月には武士の身分であった高橋至時が幕府天文方に昇進しました。そして 1796(寛政 8)年 8 月 5 日には改暦の命が下され、寛政の改暦事業が始まりました。在野の研究者として長年活動してきた麻田学派が、日本の暦を作成するという国家の業務を担うことになった瞬間です。

翌 9 月 24 日、天文方の高橋至時は、同僚の山路徳風、吉田秀升とともに改暦業務のために京都へ向かい、一方の間重富は江戸に残って改暦事業に必要な観測機器の整備や、観測を行なうなどの業務に携わりました。そして翌 1797(寛政 9 年)年 10 月には新暦書が完成し、同月 19 日に改暦宣下、名を寛政暦と賜り翌年から施行されたのでした。

次回は、寛政改暦以降の間重富の活動を紹介します。

参考文献と注

- [1] 『新製靈台儀象志』はイエズス会宣教師 F. フェルベースト(中国名は南懷仁)の編集になる書物で、1674(康熙 13)年刊。全 16 巻。北京の天文台に新設された黄道経緯儀、地平経儀をなど 6 種の観測機器の用途や構造、設置法、使用法などが解説されているほか、観測に用いる恒星位置表などの天文表も収録されています。
- [2] 『崇禎暦書』所収「測量全儀」巻 10、儀器図説において論じられています。
- [3] 大谷亮吉、1979、『伊能忠敬』復刻版、名著刊行会、355 ページ。
- [4] 『暦象考成後編』の入手先については、間重富の長男である間重新は『選考大業先生事迹略記』(間重富の業績をまとめた書物)において「貴門ニ就テ此書及諸書ヲ得ル」と述べるにとどまっています。また渋川景佑の編集になる『麻田剛立翁伝』には、間重新の言葉として「亡父奇計を出し御地より後編を取出し申し候」とあります。ここで御地というのは江戸の事なので、つまり重富は江戸で幕府要人から入手したことになります。ちなみに、『暦象考成後編』の入手時期も不明で、大谷亮吉は『伊能忠敬』(前出)において 1793(寛政 5)年春以前と推測し、上原久は 1977 年、『高橋景保の研究』、講談社において 1792(寛政 4)年頃と考察しています。

嘉数 次人