

連載

江戸時代の天文学【6】

江戸幕府の天文学(その5)

嘉数 次人(大阪市立科学館)

今回は、高橋至時が五星法を組み立てる際に、天の体系を自由に変換することができた要因を見てみることにしましょう。

5. 高橋至時と天の体系問題

5.1. 東アジアにおける天の体系問題[1]

現代では、太陽系は太陽を中心に惑星やその他の天体がめぐる構造をしていることを知っています。そして現代の眼からみると、プトレマイオス体系とコペルニクス体系、チコ・ブラーエ体系といった天の体系は幾何学的に見ると同等で、中心として静止させる点をどこに置くかの違いであるという、いわゆる座標変換の問題で解決できることもわかっています。

しかし、イエズス会宣教師たちが中国で『崇禎曆書』を伝えた17世紀前半においては、ヨーロッパでは、まだコペルニクスの太陽中心説が確立していたわけではありません。古代から支配し続けてきたアリストテレスの自然観やキリスト教の教義に反するとして、カトリック教会はコペルニクス説を誤りとししました。さらに太陽中心説を強く支持したガリレオは裁判で有罪判決を受け、彼の『天文対話』は禁書となり、ガリレオ自身も幽閉されてしまいます。もちろん、中国に来ていた宣教師たちも、本国でコペルニクス説が禁令となったことを知っていました。

一方、中国のように単に暦法を整備する目的においては、天象がうまく説明できれば太陽中心説でも地球中心説でも同じ結果を得ることができましたから、天の体系は問題になりませんでした。しかし宣教師たちは中国に比べ発達した西洋天文学を伝えるために、

プトレマイオス体系とチコ・ブラーエ体系だけを紹介したのです。

さらに東に位置する日本も西洋的な思想の影響を受けていません。また、高橋が扱っていた理論はニュートン以前の時代のものでしたから、力学的な考察とも無縁でした。従って、天の体系問題に取り組んだ高橋は、純粋に軌道の幾何学的な問題であると受け止め、研究を行なっています。従って、本稿でも、天の体系問題を高橋と同じ視点だけから扱うことにします。

5.2. 天の体系の変換を試みる[2]

さて、高橋が天の体系問題イコール座標変換問題であることに気づくのに障害となったのは、彼らが教科書とした漢訳西洋天文書の五星法が、天の体系について詳しく論じなかった点です。



図1 『暦象考成』に見られる「旧図」つまりプトレマイオスの体系図。



図2 『暦象考成』にみられる「新図」つまりチコ・ブラーエ体系図

ではここで『西洋新法暦書』の中で五星法を扱っている『五緯曆指』（全9巻）を見てみましょう。天の体系の問題は、巻1の冒頭において論じられています。そこでは、地球を天の中心として、その周囲をどの順番で天体が回っているかが議論され、その中で「古図」としてプトレマイオス体系(図1)が、続いて「新図」としてチコ・ブラーエ体系(図2)が紹介されています。そして本書では、天体の視差や金星の満ち欠けなどといった観測事実に基づいて、チコ・ブラーエ体系の方が正しいという方向で話を展開していますが、暦学者にとって重要なテーマである軌道論の具体的な取り扱いまでは述べられていません。それどころか、「暦家は、さまざまな運動に関する軌道や、周転円や離心円などがあると述べているが、これらはすべて天体の運動を説明するためだけのもので、その本当の姿をしっかりと実見したのではない。だからいろんな説があるのだ。従って、今は観測だけに基づくものとし、どれが正しくてどれが間違っているかは深く論じない」として、軌道論の深い議

論は避けています。

それに続く『五緯曆指』巻2からは、惑星の具体的な軌道論が述べられているのですが、それは前回に紹介したように、金星・水星の本天は太陽本天と共用である一方、土星・木星・火星はそれぞれの本天を持っているというものでした。

また、『西洋新法暦書』をベースに後年編纂された『暦象考成』でも、用いられている軌道論は同じものでした。従って、これらの情報だけでは、高橋としても天の体系の違いが座標変換の問題であることには気づきにくい状況であったと考えられます。

高橋が問題に気づくためには、まず『暦象考成』の五星法における各惑星の軌道の役割を理解する必要がありました。その中で、すぐに解決できた軌道はケプラー運動を説明する本輪と均輪で、これは『暦象考成後編』の楕円軌道を導入した時点で不要なものになっています。そして残ったのが、本天と次輪の処理です。

#### (1) 金星・水星の場合

では、内惑星である金星を例にとってみましょう。『西洋新法暦書』の金星軌道は、「新図」に従って太陽を中心として公転していますから、本天が太陽軌道と共通で、本天上を運動する次輪は金星の公転軌道です。ではこれを「旧図」（プトレマイオス体系）に当てはめようとするとうどうなるのでしょうか。考えられる軌道は二通りあります。

一つめは図3のような軌道で、金星本天の大きさは太陽本天のそれよりも小さいものです。そして金星本天上を運動する次輪中心は、地球と太陽を結ぶ直線上を太陽と同じ周期でめぐるとします。そして、次輪上を運動する金星と太陽との最大離角が47度になるように次輪の大きさを設定して作られるものです。

そして二つめは図4のような軌道で、『西洋

新法曆書』『曆象考成』に見られる太陽中心軌道のうち、金星本天(太陽軌道)を次輪に、金星次輪を本天にそれぞれ置き換えるというものです(前号の図5参照)。この変換をすると、小さな本天軌道上を大きな次輪がめぐるといふ、なんとも奇妙な姿となってしまうのが特徴です。

このように、金星と水星について考えると、二通りの軌道を考えることができってしまうのです。

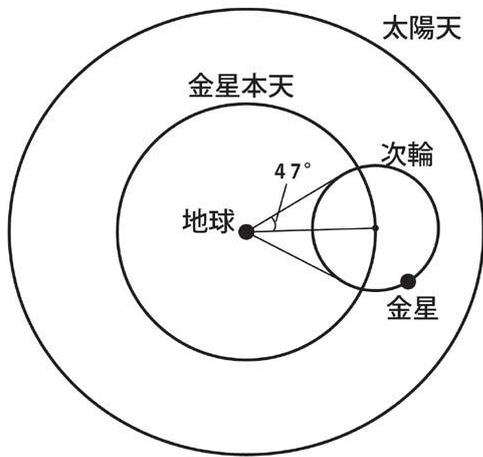


図3 金星軌道図の例1

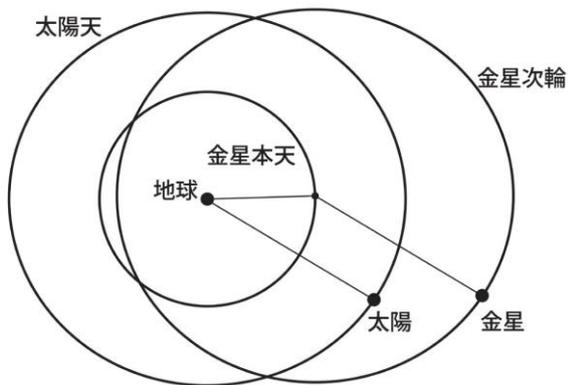


図4 金星軌道の例2

## (2) 土星・木星・火星の場合

一方、『曆象考成』は「旧図」に従って、土星・木星・火星は地球中心の軌道です。各惑星の本天上を運動する次輪中心の公転周期は、現在われわれが用いている各惑星の公転軌道と一致しています。また惑星本体は、次輪上を一年(つまり天動説における太陽の公転周期)の周期で運動しています。

これを「新図」であるチコ・ブラーエ体系に変換する場合はどうでしょう。図を見る限り、「旧図」の惑星次輪を太陽軌道と共通にして太陽中心軌道とし、惑星本天の中心を太陽中心に移動させれば、いとも簡単に完成しそうです。ところが、そんな簡単にいかないのです。というのも、肉眼や最初期の望遠鏡による観測の時代には惑星の視直径や視差(地半径差)を正確に測定できなかったため、これらの軌道の大きさを決めることが不可能でした[3]。そうすると、地球上から見た天球上の惑星位置だけを表現するのなら、軌道の大きさを変えても問題はありませんでした(実際、プトレマイオスは惑星軌道の大きさを全て同一とし、本天と次輪の大きさの比だけを示したといいます)。

そこで、『西洋新法曆書』や『曆象考成』における土・木・火星の本天と次輪の大きさの比を見てみると、現在使用している各惑星と地球の軌道の比に近い値が採用されていることがわかります(表1)。しかしながら、『曆象考成』は、「土・木・火星の次輪半径最大は、太陽天の半径とほぼ同じ」と述べているのです。この「ほぼ同じ」という表現により、次輪半径が各惑星によって異なるという認識がなされてしまい、読む人をして体系変換を難しいものにしたと考えられます。

## 5.3. 梅文鼎の影響

このように、天の体系を自由に変換することができるようになるには、大きな壁が立ち

表1 『西洋新法曆書』『曆象考成』で採用された各惑星の次輪半径。各惑星の本天半径を10,000,000とした時の値です。

惑星名	次輪半径
土星	1,042,600
木星	1,929,480
火星	6,302,750~6,561,250
金星	7,224,850
水星	3,850,000

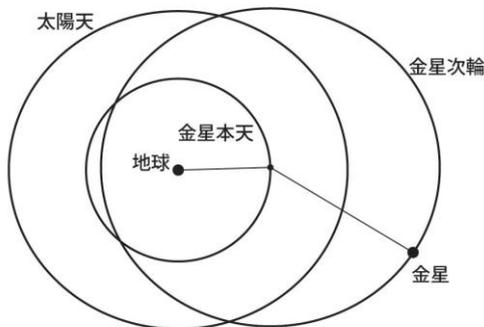


図5 梅文鼎モデルによる内惑星の軌道図。本図は金星を例にした。ただし見やすくしたため、本天・次輪の大きさの比は実際の値ではない。

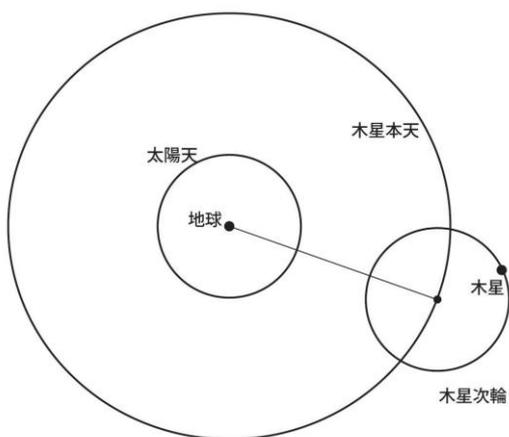


図6 梅文鼎モデルによる外惑星の軌道図。本図は木星を例にした。図5同様、本天・次輪の大きさの比は実際の値ではない。

ふさがっていたのです。しかし、高橋がその壁をぶち抜くためには、二つの要因があったと考えられます。その一つめが、中国清朝初期の曆学者・梅文鼎(1633~1721)の存在でした[4]。

梅文鼎は、清代最高の数学者・曆学者とよばれた人物で、『西洋新法曆書』をはじめとしたヨーロッパの天文学、数学を深く研究しています。梅文鼎の著作76巻をまとめた『曆算全書』は18世紀前半に日本に輸入され、広く流布しました。また、京都の曆学者・中根元圭は、徳川吉宗の命令により訓点を施しています。

梅文鼎は、『西洋新法曆書』が採用している具体的な五星軌道論と、概念的に紹介されている「新図」「旧図」とを詳細に比較検討しました。その上で、金星・水星グループと土星・木星・火星グループの本天と次輪の役割が一致しないことについて指摘し、それらを整理した新しい軌道論の作成を試みます。つまり、①五星すべての本天軌道は地球を中心とし、②五星すべての次輪中心は本天上を運動し、次輪は太陽軌道と同じ大きさとし(表2に本天半径を示しました)、③次輪周を運動する惑星本体の公転周期は1年、とした軌道を考案したのです。

この説では、地球が天の中心に位置し、そのまわりを内側から順に水星、金星、太陽、火星、木星、土星の本天がそれぞれめぐります。そして図5と図6は、それぞれ内惑星と外惑星について、本天と次輪を併せて描いた軌道図です。例えば、金星は半径0.7AUの本天上を、半径1AUの次輪中心がめぐっています。さらに水星、金星、太陽、火星の軌道はお互いが交差するという、複雑な軌道図となっています。

こういった軌道図は、各天体の軌道が同心円状にとりまく「天球」概念を持った西洋では受け入れがたいものかもしれませんが、そ

のような考えがない東洋では違和感を覚えなかったのでしょうか。しかも、この梅文鼎の幾何学的な軌道研究によって、本天と次輪の役割はきちんと整理されたものとなり、日本や中国において、「天の体系の違いは座標変換の問題であること」を認識する準備が整ったといえましょう。

そして、梅文鼎の論を考察した高橋は、「五星ノ運行皆本天アリ、次輪アリ、次輪本天ニ繋リテ黄道ト平行ヲ為スノ類、皆同一ニ帰シテ一貫ナリ。梅勿菴[5]ノ博見誠ニ称スベシ」と絶賛し、彼が考えた軌道図を自らの『新修五星法』に取り入れたのです。しかも、高橋は『暦象考成後編』により楕円軌道論をマスターしていますから、本輪や均輪という2つの周天円を廃して、楕円形の本天(導円)と次輪(周転円)の2つだけを組み合わせたシンプルな軌道図を作り上げました。ここまできると、天の体系問題に対する正しい認識まであと一歩です。

表 2 『新修五星法』初稿で採用された各惑星の本天半径。次輪半径(太陽天と同じ大きさ)を1とした時の値です。第2稿でも同じ値を採用しています。

惑星名	本天半径の大きさ (次輪半径 = 1 の時の値)
土星	9.538
木星	5.2011
火星	1.52369
金星	0.72333
水星	0.3871

#### 5.4. 高橋至時と地動説

そして、二つ目の要因は、高橋がコペルニクスの太陽中心説(地動説)を理解していた点でしょう。コペルニクスの太陽中心説は、18世紀中頃に日本に入ってきました。高橋は、

梅文鼎のモデルを採用したことに加えて、コペルニクス体系のシンプルな図を見ることにより、土・木・火星の次輪が太陽軌道に置き換えられることをはっきり認識できたと想像できます。

では、高橋は、地動説をどの程度知っていたのでしょうか。次回は、高橋と地動説の関係について見てみることにします。

#### 参考文献と注

- [1] 17~19世紀ころの中国においてコペルニクス説がどのように受け入れられたかに関しては、N.セビン著、中山茂・牛山輝代訳、1984、「中国のコペルニクス」、思索社、に詳しい。
- [2] プトレマイオスの軌道論の概略を知るなら、村上陽一郎、1996、「宇宙観の変遷」、講談社学術文庫や、トーマス・クーン著、常石敬一訳、1989、「コペルニクス革命」、講談社学術文庫が手軽でよい。詳しく知りたい場合は高橋憲一、1993、「コペルニクス天体回転論」、みすず書房、がおすすめ。また中山茂編、1982、「天文学史」(現代天文学講座15巻)、恒星社、もある。
- [3] 『五緯曆指』には五星の地平視差に関する言及があり、「新図」を用いた場合は水星が2~6分、金星が2分弱~11分、火星は衝の時間が15分、木・土星の値は微小とし、「太陽と月以外は測り難く定め難し」と述べている。『暦象考成』の値はこれらとは違うので、新しい測定値かもしれないが、両書とも何年に誰が測定した値か記述していない。また『五緯曆指』は五星の視直径の値も記載しているが、肉眼観測時代の値である。
- [4] 梅文鼎に関して詳しく紹介された日本語の一般書はほとんど見当たらないので、例えば、中山茂編、1983、「天文学人名辞典」(現代天文学講座別巻)、恒星社、を見られたい。
- [5] 「勿菴」は梅文鼎の号

嘉数 次人