

連載

江戸時代の天文学【7】

江戸幕府の天文学(その6)

嘉数 次人(大阪市立科学館)

6. 高橋至時と地動説

今回は、高橋至時の地動説に関する理解について見てみます。前回までに紹介したように、高橋は惑星の運動論を組み立てる際、天の体系の違いは座標変換の問題であることを理解し、プトレマイオス体系やチコ・ブラーエ体系を自由に変換することが出来ていたようです。では、高橋が活動していた頃には既に日本に伝えられていたコペルニクスの太陽中心説(以下、本稿では便宜的に「地動説」という表現を使います)については、高橋はどのように考えていたのでしょうか。まず、これについて見てみることにしましょう。

6.1. 日本に入った地動説[1]

古来、日本では、天の体系についての天文学的考察は行なわれませんでした。お手本であった中国でも、3世紀頃までは渾天説や蓋天説などといった宇宙体系の考察が行なわれていましたが、暦学や天体占いがメインであったこともあり、次第に宇宙論について扱われることがなくなりました。その後、再び宇宙の体系について語られるようになったのは、16世紀にイエズス会宣教師たちが中国に西洋天文学を伝えて以降のことです。しかし、宣教師が所属していたイエズス会はカトリック系であったため、教義に反するコペルニクスの地動説は紹介されませんでした。

一方、日本で地動説が紹介されたのは18世紀後半のことで、発信地は長崎でした。文献としては、長崎でオランダ通詞を勤めていた本木良永(1735～1794)が1774年に著した『天地二球用法』が嚆矢といわれます。これは、オランダの地図製作者ブラウ(W. J.

Blaeu, 1571～1638)が作成・販売した天球儀と地球儀に付けた手引書「天球儀および地球儀に関する二通りの教程」を翻訳したもので、この中で本木は地動説について簡単に触れています。本木はその後、時の老中・松平定信から、G.アダムス(George Adams)の『通俗基礎太陽系天文学』のオランダ語訳本を翻訳するよう命を受けて献上した『星術本源太陽窮理了解新制天地二球用法記』(1793年)でも、地動説を紹介しています[2]。

その後、地動説を本格的に研究したのは、やはり長崎にいた志筑忠雄(1760～1806)です。志筑は、1776年にオランダ稽古通詞に就任しましたが、翌年には病気を理由に退職してしまい、以後は蘭学研究に没頭しました。そしてイギリス人天文学者ジョン・キール(John Keill, 1671～1721)の著書のオランダ語訳本(キールによる「物理学入門編」、「天文学入門編」など6編の著作を集めて一冊にまとめたもの)を翻訳し、『暦象新書』(1798～1802年)を執筆しました[3]。志筑はその中で、地動説を詳しく紹介しています。また引力説なども理解しており、近世日本において、天体力学を理解し得た数少ない科学者の一人でした。ちなみに、志筑は従来の日本にはなかった概念の翻訳に随分苦労し、「地動説」「重力」「遠心力」などといった訳語を初めて用いたことで知られています。

このように、オランダ語を専門とする人たちが紹介した地動説は、蘭学ブームも手伝って短い期間に国内に広まりました。そして一般の人々への普及に努めた一人が、日本で最初に油絵を描いたことでも有名な司馬江漢(?～1818)です。江漢は本木良永の影響を強

く受けたようで、1793(寛政5)年の『地球全図略説』を皮切りに、1795(寛政7)年の『和蘭天説』(図1)、1808(文化5)年の『刻白爾天文図解』など、複数の著作で地動説を紹介しています[4]。初期の著作では間違っただけの見られませんが、彼の著書は一般向けの蘭学書として広く読まれたこともあり、地動説が紹介された初期における普及には一定の役割を果たしたようです。

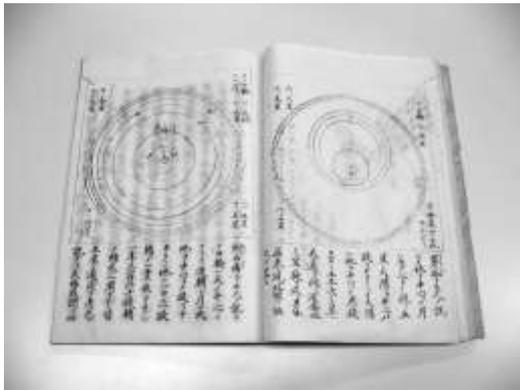


図1 司馬江漢の『和蘭天説』(大阪市立科学館所蔵)

6.2. 高橋至時の地動説

6.2.1. 麻田学派と地動説

一方、当時における天文学の主流であった暦学者は、『西洋新法暦書』や『暦象考成』などのイエズス会系宣教師による漢訳西洋暦学書をメインに用いていたこともあり、地動説の導入が遅れました。しかし、本木らによって国内で急速に広まった地動説は、暦学者の耳にも届きます。中でも大阪の麻田学派の研究者たちは、敏感に反応しました。麻田剛立は、ケプラーの第三法則と同様の法則について述べた『五星距地之奇法』中において「地動ノ説ニヨレバ…」というような記述を残しており、地動説の存在を知っていたことは明らかですが、どの程度理解していたかについては不明です。

麻田の弟子であった高橋至時は、地球が自

転していることや、天の北極が地球の自転軸の延長線上にあり、地球は自転軸から23.4度傾いた面上を公転していることをしっかりと認識していました。そして晩年にラランデ暦書を手に入れた頃には、コペルニクス体系と、プトレマイオス体系、チコ・ブラーエ体系との変換が可能になるなど、暦学研究を行なう上では十分な理解をしていたほか、複数の著書において地動説について言及していました[5]。

6.2.2. 『増修消長法』にみられる地動説

高橋が地動説をどのように考えていたかは、1798(寛政10)年の『増修消長法』で知ることができます。消長法とは麻田剛立が創案した法で、太陽年や朔望月、交点月、黄道傾斜角をはじめとした多くの天文常数が変化するとし、自らの観測値や過去のデータを参考にして常数計算法をまとめたものです。高橋と間重富は、寛政の改暦の際に麻田の消長法を寛政暦法に取り入れましたが、麻田の著作には計算方法だけが示されていて、理論的解説がありませんでした。そこで、高橋が解説を試みたものが『増修消長法』でした[6]。

高橋は、『西洋新法暦書』にみられるトレピデーション(歳差による春分点の移動角度が周期的に変化するとして表した計算項)という概念を用いて天文常数の変化を説明していますが、トレピデーションはギリシア時代からある古い概念で、地動説とは何ら関係はありません。しかし、高橋は地動説と大きな関係があると考え、『増修消長法』の序文で地動説についての言及が見られます。

(1) 地動説と軌道論

五星の不等運動について、『暦象考成』では、本天のほかにケプラー運動を説明する本輪と均輪があり、地球の公転による運動を説明する次輪(歳輪ともいう)を設けていました。そのうち本輪と均輪は、『暦象考成後編』の楕円

軌道論を導入することにより不要となりました。そして残った次輪について高橋は、「歳輪が逆行や留、早くなったりおそくなったりする運動を生じさせる。これは観測に基づいたものというが、その動きは非常に煩雑で、天体の運行の自然なシンプルさに反する。」とし、地動説に基づくと「歳輪が不要となる。しかも太陽-地球間の距離によって歳輪の大きさを変える(注：高卑差のこと)など紛々とした説も不要となり、各惑星が一つの軌道上を公転するのみとなる。」として、その利点を述べています。つまり、楕円軌道論と地動説を導入することにより惑星の軌道が単純になっていくことを目の当たりにした高橋は、天体の運動のメカニズムはシンプルであるはずだという見解をもっていたのです[7]。

(2) 地動説と歳差

『西洋新法曆書』などで解説されている天動説は、地球を不動のものとしていました。そのため、日周運動は天の最外層にある「宗動天」という球殻状の天球が一日一周し、その宗動天が他の天体を引っ張ることによって生じるとしていました。また歳差については恒星固有の運動であり、すべての恒星が黄極を中心に1年に51秒ずつ運動するとしていました。

一方、高橋が知った地動説は天体の日周運動は地球の自転によって生じるとしており、地球が不動のものであるという呪縛から解放されています。さらに高橋は、太陽と恒星は同じ種類の天体であり、自ら光り輝く天体であるとも考えていました。そこで歳差に対する従来の見解に疑問を抱き、「黄道というのは地球の公転軌道であって、五星の軌道と同じものである。広大な高さに位置する恒星が、太陽系内にある小さな地球に従って一齐に黄道に沿って同じ運動をするとは考えがたい。」「もし恒星が移動するならば、太陽も同様に毎年51秒ずつ動くはずだ。それなら地球や惑

星も同じ動きをするはずだから、動くものから動くものを見ても相対的に動きを認識できない。」とし、歳差というのは恒星たちが毎年51秒ずつ東へ運動するのではなく、地球の運動によって生じているのだと結論付けました。そして「赤道極の一動によって、数万の恒星の運動を免れる」ことになり、高橋が好むシンプルな宇宙像に一致すると考えたのです[8]。

高橋は、消長法で示された太陽年の長さや黄道傾斜角の値の変化は、トレピデーションによって説明できると考え、『増修消長法』において採用しました。そして、トレピデーションは恒星自体の動きではなく、地球の動きによるものと考えた方がシンプルで合理的な宇宙モデルになるという観点から、地球を不動のものとする従来の宇宙観を捨て、地動説を受け入れることが必要であったのです。

6.2.3. 地動説とケプラー第三法則

さらに高橋は、五星法研究の一環としてケプラーの第三法則を考察する中で、地動説の宇宙観への考察を行ないます。

高橋の師匠である麻田剛立は、各惑星の公転周期の2乗と軌道半径の3乗との比が一定であるという法則を「発見」し、その計算法を示しています[9]。この関係はケプラーの第三法則に相当するもので、これにより麻田はケプラーの第三法則を独自に発見したともいわれています。(ただし、本当に独立に発見したのか、それとも西洋の知識を取り入れたものなのかは不明です。高橋ら弟子は麻田の創案としています。) 当時は、惑星の軌道半径を決める方法が知られていなかったため、「麻田の法則」は弟子によって受け継がれました。しかし、『新修五星法』のための研究を続けていた高橋は、麻田の法を考察していくうちに疑問を抱きます。というのも、高橋は自ら観測により決定した各惑星の公転周期の値を用

いて、麻田の計算法で軌道半径を計算してみると(表1)、金星と水星を除き、得た値が西洋書に記載されている値(表2)よりも小さくなるのです。

この数値の差はどこからくるのか考察した高橋は、自分が採用している惑星公転周期の値は黄道上を一周する時間であるのに対し、西洋書では対恒星公転周期としていることに気づきます。黄道座標を基準とすれば、同然ながら歳差の影響をうけてしまいます。これは、1太陽年と1恒星年の違いの関係と同じです。そこで、高橋は公転周期を恒星基準にして軌道半径を再計算すると、西洋書に記載されている値とかなり近くなりました(表3)。

ここにきて高橋は、ヨーロッパでは恒星を不動のものとして天体計算を行なっていると確信します。そして、「西洋の説では、地球は公転運動と自転運動をずるとしている。そして恒星は永世不動のものとして太陽と同一物と見ているようだ。とすれば、歳差というのは恒星が1年に51秒東へ移動するのではなく、赤道が黄道に対して毎年51秒ずつ西へ動く現象なのだ。しかも、1太陽年の値は毎年変化せず、1恒星年の値は変化しないのだから、計算を行なうときには不動の恒星を基準とすべきであろう。」と述べ、地動説を含めた西洋の近代的な宇宙観への賛同を示しています。

6.3. 高橋至時と到達点と限界

6.3.1. 高橋の地動説を読む

以上、高橋の地動説に対する見解を紹介しました。これらを見ると、高橋は地動説に賛同していたことが窺えます。しかしながら、高橋は単に、(1)では軌道論的に、(2)と(3)では宇宙論的にみて、地動説を採るほうが合理的に説明できるという間接的な見解から支持をしているだけです。しかも、高橋が挙げた理由はいずれも地動説の正しさを証明するものではないことは明らかです。例えば自転

表 1 高橋がケプラーの第三法則から計算した軌道半径の値

	公転周期(年)	軌道半径 (天文単位)
土星	29.433629	9.53299
木星	11.856342	5.19957
火星	1.8807468	1.523656
金星	0.61519546	0.7233393
水星	0.2408925	0.38710

表 2 高橋が入手した西洋書ヨハン・リリウス著『アーノルド ゴローツ』に記載された軌道長半径

	軌道半径 (地球=100000)
土星	953800
木星	520110
火星	152369
金星	72333
水星	38710

表 3 高橋が再計算して得た軌道長半径の値

	軌道半径(天文単位)
土星	9.5397527
木星	5.20247063
火星	1.52369045
金星	0.723332208
水星	0.38709875

に対する考え方でも、西洋では天動説のまま地球を自転させることにより日周運動を説明する見解もあり、地動説固有の考え方ではありません。もちろん歳差も同様です。

では高橋はなぜ、地動説を懸命に擁護したのでしょうか。それは彼が天動説と地動説の問題を単に天体軌道の座標変換問題として捉

えていただけではなく、宇宙観の問題としても考えていたからだと考えられます。つまり、『西洋新法曆書』や『曆象考成』といった漢訳西洋書が論じている天体の配列順序や日周運動、歳差、公転運動などの見解をワンセットの宇宙観として理解したが故に、新しく入ってきた地動説も同様のものと考え、様々な間接的な理由を挙げて地動説に賛成したのです。

もちろん、高橋自身はヨーロッパで光行差が検出されたことは知りませんでしたし(晩年、ラランデ天文書で光行差を研究しますが、その概念を理解するには至りませんでした)、当時はヨーロッパでもまだ年周視差は検出されていませんでしたから、高橋がこのような考察しかできなかったのは当然のことです。しかしながら、そこに至る前の段階で、彼は地動説を採用することが合理的であると考えざるを得なくなっていたのも事実でしょう。

このように、地動説を宇宙論的視点、軌道論的視点からトータルに把握しようとした高橋の見解は、その内容が正しいかどうかは別として、従来の暦学者には見られないユニークなものであると評価できましよう。

6.3.2. 『新修五星法』と地動説

このような考察をおこなった高橋は1803(享和3)年の春、ラランデ天文書を入手します。そして西洋の新しい天文学を読み解くうちに、西洋天文学では地動説が信じられていることを改めて確信します。そしてその知識を得た上で、同年7月に『新修五星法』第二稿を執筆し、第一稿で採用されていたプトレマイオス体系も改訂したのですが、驚くことに彼が採用した五星法の軌道論は、チコ・ブラーエの地球中心体系であり、コペルニクス体系のそれではなかったのです。

ではなぜ、あれほどに支持していた太陽中心体系を採用しなかったのでしょうか。そこ

で、『新修五星法』をよく見ると、次のような一文がさりげなく書かれています。

「近日、西洋人はことごとくコペルニクスの地動説に従うという。しかし、この説にみられる、地球を動く(公転する)ものとする事が頗る人々の疑怪を引く。故に、いまチコ・ブラーエの旧説に従う。」

高橋によるこの記述は、単なるレトリックなののでしょうか、それとも本音を書きとめたものなののでしょうか。その真相は謎ですが、筆者はかなり本音が混じっていると考えています。というのも、寛政暦のベースとなっている『曆象考成』は、チコ・ブラーエ体系を採用すべきものであるとしていますから、『新修五星法』でチコ体系を導入した段階で、理論としては一貫性が十分保たれるはずですが、それを敢えて、チコ体系を「旧説」と呼んでいる点などは、研究者としての高橋の良心が感じられます。そう考えると、高橋が地動説を採用しなかった理由をわざわざ書くということは、もしかしたら地球が猛スピードで公転するという地動説に対して人々が抱く疑問に対して、彼は明確な回答を示すことができなかつた経験を持っていたのかもしれない。高橋も16～17世紀のヨーロッパの天文学者たちが説明できなかった地動説の物理学的見解に関して、同様の悩みを持っていたのです。

五星法の問題を中心にした高橋至時の紹介は今回で終わりです。旧態依然としていた日本の暦学界に、高橋は近代的な風を一気に送り込みました。しかしながら、天文方に就任してわずか10年後、41歳という若さでこの世を去ってしまい、後は長男の高橋景保や同僚の間重富らによって受け継がれていきます。今回は、高橋至時以降の幕府天文方の様子を見ることにしましょう。

参考文献と注

[1] 近世日本における地動説の流布の状況については、日本学士院編、1979、『明治前日本天文学史』新訂版、臨川書店、180～204ページや、渡辺敏夫、1986、『近世日本天文学史 上』、恒星社厚生閣、265～285ページにまとめられている。

[2] 本木の『天地二球用法』や、その原書『天球儀および地球儀に関する二通りの教程』は、神戸市立博物館編、1998、「特別展 日蘭交流のかけ橋」に写真と解説が掲載されている。

[3] 『暦象新書』は、1956、『日本哲学思想全書』第6巻自然編、平凡社、に全文活字化されている。また、『暦象新書』とキールの蘭訳本との関係などについては、吉田忠、1988、「『暦象新書』の研究」、東北大学文学部附属日本文化研究所研究報告第25集、107～152ページに詳しい。

[4] 『和蘭天説』は、沼田二郎編、1976、『洋学 上』(岩波思想大系64)、岩波書店に活字化されている。また、司馬江漢と本木良栄の関係については、同書649～672ページ所収の、沼田次郎「司馬江漢と蘭学」で論じられている。

[5] 高橋至時がいつごろ地動説を知ったのかは不明。高橋の次男である渋川景佑は、1822年に編集した『新修五星法』において、高橋が1795(寛政7)年に地動説に基づいた法を立てたが中断したと述べている(前出『明治前日本天文学史』、215ページ)。しかしその文献は現存しないため、どのようなものだったのかを知ることができない。現存する高橋の資料において最初に地動説の言及が見られるのが『増修消長法』である。

[6] 麻田の消長法や、高橋の『増修消長法』の内容については、中山茂、1964、「消長法の研究(Ⅲ)」、日本科学史学会『科学史研究』第69号、8～17ページ、に詳しい。

[7] 高橋のこの見解は『ラランデ暦書管見』

にも見られる。広瀬秀雄等編、1972、『洋学下』(日本思想大系65)、岩波書店、186-187ページ参照。

[8] 高橋の歳差についての見解は、広瀬秀雄、1972、「洋学としての天文」(前出『洋学 下』所載)中に引用されている、「贈麻田翁」という一文(『増修消長法』所載)でも見ることができる。

[9] 麻田によるケプラー第三法則に相当する計算法は、弟子の西村太沖による『麻田翁五星距地之奇法』にまとめられている。その原文は、大分県先哲史料館編、1999、『大分県先哲叢書 麻田剛立 資料編』、大分県教育委員会、533-535ページに活字化されているのははじめ、渡辺敏夫、1983、『近世日本科学史と麻田剛立』、93-94ページでも見ることができる。

また、麻田によるこの法則についての論考は、上記渡辺の『近世日本科学史と麻田剛立』に見られるほか、中山茂、1969「ケプラーの第三法則と志筑忠雄・麻田剛立」、日本科学史学会『科学史研究』第90号、49～55ページや、近年では上原貞治、「わが国におけるケプラーの第3法則の受容」(東亜天文学会編、『天界』において2005年6月号から不定期掲載)がある。

嘉数 次人