

我が国におけるケプラーの第3法則の受容(II)

Adoption of the Kepler's Third Law in Japan (II)

— 麻田剛立「五星距地之奇法」と志筑忠雄「暦象新書」の比較 —

上原 貞治

(茨城県つくば市)

東亜天文学会「天界」2006年6月号掲載

1. はじめに

筆者は、さきに「我が国におけるケプラーの第3法則の受容 — 麻田剛立の『五星距地之奇法』を中心にして—」(文献1)、以後、「前編」と呼ぶ)において、我が国の江戸時代の暦算学者、麻田剛立(1734-1799)が、西洋からの直接的な情報に依らずに「ケプラーの第3法則」を独立発見した可能性があることを示した。また、麻田が書いた(あるいは口述した)と考えられるケプラーの第3法則を記した文献「五星距地之奇法」(文献2)にある惑星の公転周期の数値は、彼が1786年に自著に記していた惑星の定数から導き出せることを示した。

「五星距地之奇法」の成立については不詳であるが、その内容から1795-98年ごろに書かれたと推測され、ケプラーの第3法則に関する我が国最古の記録と考えられる。しかし、オランダ通詞の志筑忠雄(1760-1806)が西洋の天文書を翻訳したのもほぼ同時代であり、一般には「ケプラーの第3法則」の日本での確実な初出は1798年に彼によって完成された「暦象新書」の上編であるとされている。そして、現存はしていないがその「暦象新書」の草稿ともいべき文献がそれ以前に存在しており、麻田がその内容を何らかの方法で直接的あるいは間接的に知り得た可能性があることが指摘されていることはすでに前編に述べた(前編で引用されている件や本編に記載のない参考文献については文献1)の末尾の文献を参考のこと)。

前編において、私はこの志筑忠雄の「暦象新書」についてはほとんど触れなかった。その第一の理由は、私がそこで明らかにしたかったことが「オランダから移入された知識に直接依らなくても、麻田がケプラーの第3法則を独自に発見することは可能であった」ということであったからである。「麻田がオランダから移入された知識に接触しなかった」ということを証明できればそれに超したことはないが、麻田が蘭学勃興期に生存していた以上、そのような可能性を完全に否定することは原理的に不可能である。

さらに第二の理由は、麻田剛立がこの「暦象新書」なりその草稿なりに直接触れた可能性がほとんど無いからである。これは、別途、客観的な検証を要する事柄であるが、まずはおおざっぱな理由として、「暦象新書」の初出年(1798年)が麻田がケプラーの第3法則を発見したと考えられる時期(1789年頃?)よりもかなり遅いこと、さらに、麻田の門人の高橋至時(1764-1804)の晩年の著作によると、高橋が1803年に「ラランデ暦書」の解説を始める以前には「暦象新書」にあるような西洋の近代天文学の体系的な知識を麻

田一門の者が持っていなかったらしいということ、を挙げれば十分であろう（これに関しては第4節で具体的に触れる）。

しかしながら、それでも「五星距地之奇法」と「暦象新書」の内容を比較することは十分に意味があるであろう。麻田らは、志筑の書いたものを直接読んでいなくても、その内容をたとえばうわさ話として断片的に聞き及んでいたかもしれない。また、そこにあるような西洋伝来の知識が当時の暦学関係者の間で何となく伝わっており、麻田の知識や研究に影響を与えていたかもしれない。だから、「五星距地之奇法」に当時最先端の蘭学の知識がどの程度はいりこんでいるかを調べることは、麻田が研究材料にしたものは何であったのかを知る上で非常に役に立つであろう。

本論では、まず、「暦象新書」の紹介を簡単に行ったあと、「五星距地之奇法」に書かれている記述と対照づけながらその内容を吟味する。そして、「五星距地之奇法」がどの程度に西洋近代天文学の影響を受けているかを検証する。

2. 暦象新書について

「暦象新書」は、オランダ通詞の志筑忠雄が、英国人ジョン・ケール(John Keil, 1671-1721)によって18世紀前半に書かれた「物理学・天文学入門」(ラテン語、原題 "Introductio ad veram physicam et veram astronomiam" 1725) のルロフスによるオランダ語訳(1741)を読んで、その抄訳に翻案を加えたものである。これは、単なる翻訳書ではなく志筑の考えや中国経由のより古い時代の天文知識との比較検討を含むものであり、志筑独特の世界をつくったユニークな著作となっている。志筑は、我が国で最初に西洋近代科学を理解した人といわれている。それは、ケールがニュートンと同時代を生きたその信奉者としての立場から当時の物理学、天文学の解説を書いており、そして志筑がその本質的な部分を消化していたと見られるからである。しかし、志筑はその神髄のところではやはり東洋哲学(儒学、朱子学)をベースとする学問をしてきた人であったので、彼自身の記述のうちには、東洋と西洋のそれぞれの考えを折衷させて説明しようとする傾向が見られる。

「暦象新書」は、上・中・下の3編に分かれており、上編が出たのが前述の通り1798年、下編が出て完結を見たのが1803年であった。「暦象新書」は、ケプラーの3つの法則の他、ニュートンの力学、万有引力の法則、遠心力、光学の法則、人工衛星の周期、星間ガスの収縮説などの内容を含んでいる。ここで最後の2つは志筑の独自の考察によるもので、彼の近代科学の理解とその分析のセンスが傑出していたことを物語っている。

「暦象新書」は、まさに西洋の近代科学の系統的な知識を与えた我が国最初の著作であったといえる。

3. 五星距地之奇法と暦象新書の比較

いよいよ両書の内容の具体的な比較を行う。ただし、「五星距地之奇法」(文献2)は原著で5ページしかないもので、3編6巻の内容を持つ「暦象新書」(文献3)と比べると1%くらいの分量しかない。それで、「五星距地之奇法」に書かれていることが「暦象新書」ではどう書かれているかを調べることにする。その後、「暦象新書」にあるような西洋近代天文学の重要な事項が、高橋の晩年の著作などに現れているかについて簡単にまとめを挙げることにする。

(1) 両書の主題

まず、「五星距地之奇法」（以下、「五星」と略す）の主題であるが、それは、五星距地之奇法という法則そのもの（ケプラーの第3法則と同じもの）を提示することである。一方、「曆象新書」（以下、「新書」と略す）の内容は多岐にわたっているが、そこでケプラーの第3法則が紹介されている理由は、「地動説が正しいことを証明すること」と「ニュートンの万有引力の法則を紹介すること」であったように読み取れる。

(2) ケプラーの第3法則の名称とその発見者

「五星」では、「五星距地之奇法」がケプラーの第3法則に与えられた名前である。本文に発見者の記載はないが、表紙には「麻田翁五星距地之奇法」と記されている、また、彼の門人によって後に記された文献によると、この法則は麻田によって独自に発見されたということになっている。一方、「新書」では、名称は「衆動帰一訣」となっている（これが西洋語の原語を忠実に訳したものでどうかは不明。読者諸氏のご教授を乞う）。そして、この法則の発見者は「契禮爾（ケプレル）」となっている。志筑はオランダ通詞であるから、Kepler のオランダ語流での発音「ケプレル」を把握していたはずである。

麻田の存命中には、麻田の門人らの間では「ケプレル」という西洋の天文学者の名前は知られていなかったらしい。彼等が研究した中国の暦学書「曆象考成後編」には、ケプラーの第1・第2法則とともに、「刻白爾」（ケプラー）の名が出てくるが彼等はこの読み方がわからなかったようである（*注1）。高橋至時は、自著「ラランデ暦書管見」（1803-04）に、麻田の死後にフランスの天文学者ラランドの書いた天文書のオランダ語訳を見て初めて「ケプレル」の名を知ったと窺える記述をしている。

*注1：また同時代の日本人の何人かは「刻白爾」をコペルニクスと読み誤った。これは、オランダルートで地動説の提唱者「コペルニクス」の名前が入ってきた一方で、「刻白爾」は漢籍に記載されており、これを誤って同一人物と思いこんでしまったためと推測される。

(3) ケプラーの第3法則が成り立つ根拠

「五星」では、麻田の門人、間重富（1756-1816）の独自の発案と見られる「天行方数諸曜帰一理」によってケプラーの第3法則の説明がなされている。一方、「新書」では、ニュートンの万有引力の法則がその上位原理となっている。間の説は、惑星運動の軌道半径と公転周期の関係を、ただ単に振り子の糸の長さとの関係になぞらえたものであり、本質的な物理学的解析を含むものではない。これは、麻田らがニュートンの万有引力の法則を全く知らなかったためであろう。両書は全く同じ法則を記載しているにもかかわらず、その法則の成り立つゆえんの説明は全く違っているのである。

ただし、「五星」の「天行方数諸曜帰一理」と「新書」の「衆動帰一訣」が、どちらも「帰一」という語を含んでいる点が少し気になる。「帰一」というのは今日いうところの「統一」という程度のありふれた用語であったと思われるのでこれは偶然の一致の可能性が高いと思うが、両法則名の間には何らかの交渉があった可能性も完全には否定できない。

(4) ケプラーの第3法則が成り立つ範囲

「五星」においても「新書」においても、ケプラーの第3法則の比例関係は公転運動の中心天体を共有する天体間でのみ成立することが明確に主張されている。そして、天体が中心天体によって、5惑星と地球、月、木星の4衛星（など）にグループ分けされる。特に注目されるのは、両書において、月と惑星が同じグループに入らないことがはっきり指摘されている点である。それが地動説の根拠になりうるものが、「五星」では潜在的・間接的に、「新書」では明瞭に論じられる。この点においては両書の内容の意図はほぼ一致しており、それは、現代の天文学から見ても正しいものである。

(5) 天動説と地動説

「五星」の特徴は、天動説（地球の周りを月と太陽と5つの惑星が公転するというアリストテレス・プトレマイオスの体系に対応）での表記と地動説での表記を併用し、どちらか一方のみが正しいということを述べていないことである。一方、「新書」はその目的の一つが「地動説が正しいことを示すこと」であったことから、地動説の立場でこれを記述し、天動説では具合が悪いことを論じている。

高橋の晩年の「新修五星法」（1803年）の記載によると、高橋や麻田は五星距地之奇法を「惑星の軌道半径を導き出す方法」として捕らえていたようである。天動説であっても地動説であっても、地球以外の惑星の軌道半径の数値については同じ数値で扱うことができるので、両説のいずれが正しいか、ということは彼らには大きな問題にはならなかったようである。一方、「新書」の志筑にとっては、物理学の分野に属する万有引力の法則を明示することがより重要であったため、力学的視点に立ったときの天動説と地動説の違いをおろそかにすることは決してできなかった。この点で両書の立場は大きく異なっている。

しかし、(4)で述べたように、麻田らも天行方数諸曜帰一理に基づいて公転の中心天体に着目して天体を分類する際には地動説を考えないと具合が悪いことに気がついていた。高橋が1790年代以降、西洋天文学に基づく惑星運動の研究に傾斜したのは、この事実などから地動説の優位性を認識したためかもしれないと筆者は推察する。

(6) 公転周期を定義する系

惑星の公転周期を定義するためには、基準となる座標系の設定が必要である。「五星」ではそれについて明瞭に書かれていないが、引用されている公転周期の数値を見る限り、そこで採用されているのは春分点を固定した系である。これは、内惑星についてのみ太陽中心軌道を採用するティコの体系の天動説に基づいている「曆象考成」や「天経或問」が採用している系と同じである。これらの曆書は、春分点を固定し、歳差を恒星の固有運動と見なす説を採っているため、ここではその座標系を「春分点座標系」と呼ぶことにする。「五星」の惑星の公転周期の数値が、もともと「曆象考成」の数値から採られていることは前編で述べた（*注2）。

一方、「新書」は明確に「恒星座標系」によっている。そして、志筑は、ケプラーの第3法則を確認する上でこれが正しい方法であることを明言している。さらに、実際にティコの体系の天動説に基づく数値から歳差の効果を差し引く計算もデモンストレーションしている。ただし、志筑が引用した数値は「五禮通考」によるもので、「曆象考成」の数値

とは多少異なっている。

麻田らは歳差を「恒星の固有の運動」と見る説に賛同していなかったと筆者は推論する。歳差が恒星の固有の運動ならば、歳差の周期を歳周（太陽年に相当する）の変化と結びつける麻田の消長法はその根拠を失う可能性があるからである。それにもかかわらず、彼らが「五星」で春分点座標系を採用したのは、単に、彼らが「曆象考成」の流儀による曆算計算に慣れていたためかもしれない。「五星」には「細微の数を必とせず」と書かれている。しかし、さらに深読みをするならば、彼らは春分点座標系を一端仮定して計算を行った後、歳差を恒星の固有の運動とする見方を背理的に反証しようとしていた可能性もある（前編9節を参照）。

（*注2）惑星の公転周期を観測で決定する際には、会合周期と地球の公転周期の測定値からこれを計算する。この際、地球の公転周期として春分点座標系に基づく周期（太陽年）を採用すると惑星についても春分点座標系に基づいた公転周期が得られる。一方、恒星座標系に基づく地球の公転周期（恒星年）を採用すると惑星についても恒星座標系に基づいた公転周期が得られる。

（7）木星と土星の衛星について

「五星」には、木星の衛星についてケプラーの第3法則が成り立つむねの記載があるが、衛星のデータについては、まだケプラーの第3法則を確認できるほど精度良く測られていないということの数値が挙げられていない。また、土星の衛星については全く触られていない。一方、「新書」では、木星の4つの衛星と土星の5つの衛星の具体的な軌道半径と公転周期のデータが与えられ、実際にケプラーの第3法則の成り立っていることが木星と土星の衛星系それぞれについて示されている。

ここで、衛星が発見された時期の違いを指摘しておく価値がある。木星の4衛星は、ガリレオによって1610年に発見された。一方、土星の衛星のうち最初のもは1655年にホイヘンスによって、5番目の衛星は1684年にカッシニによってそれぞれ発見されている。

（8）惑星の軌道半径の測定データ

「五星」には惑星の軌道半径の測定値は載せられていない。五星距地之奇法による計算値、すなわち、公転周期の $2/3$ 乗の値が載せられているだけである。一方、「新書」では、西洋書からの実測によるとされる惑星の軌道半径のほか、志筑自身が漢籍（「五禮通考」など）のティコの体系の定数から導き出した惑星の軌道半径と公転周期の値を挙げ、それらの間でケプラーの第3法則が成り立っていることが示されている（*注3）。このように「新書」では複数のセットの惑星の定数が示されているが、「五星」が用いたと見られる「曆象考成」に基づく定数は掲載されていない。

（*注3）「新書」で志筑が採用した計算方法は以下の通りである。外惑星の公転軌道半径については、その次輪（周天円）半径が太陽・地球間距離に等しく、その本天半径が太陽・惑星間距離に等しいとして、曆書に与えられている両者の比を利用して軌道半径を求める。内惑星の公転軌道半径は、ティコの体系でも地動説でも同じである（以上は筆者が前編7節で述べたのと同じ方法である）。また、内惑星の最大離角から三角法で軌道半径を求める方法も試している。公転周期の計算法については、その一部を

(6) でも述べたが、暦書にある春分点座標系に基づく惑星の「毎日平行」(平均日々運動に対応)から「毎日の歳差」(360度を歳差周期の日数で割ったもの)を差し引いて、これを惑星の公転運動の恒星座標系での平均角速度とする。全周をこの角速度で割ると恒星座標系での公転周期が得られる。以上の惑星の軌道半径と公転周期はいずれもケプラーの第3法則を使わずに求められたものである。

4. 西洋近代天文学についての高橋至時の知識

高橋至時は、その晩年にケプラー運動に基づく惑星運動の研究を始め、「ラランデ暦書管見」などの著作を残した。それらによると、高橋は、少なくともラランドの天文書を見るまで、ケプラーによるその第3法則の発見やニュートンの力学・万有引力の法則に代表される系統的な西洋天文学の知識を持っていなかったらしいことがわかる。また彼は、ハレーによる彗星軌道の研究や恒星の固有運動の発見、ブラッドレーの光行差、レーマーの光速の測定などの地動説に関連する重要な知識を知らなかったものと筆者は推察する(*注4)。

一方、高橋が麻田の存命中に知っていたことは、地動説がすでに西洋で正しいとされていたこと(類する記述が麻田と交流のあった三浦梅園の「帰山録」(1778)にある。これはオランダ通詞からの知識である)、ケプラーの第1・第2法則(「暦象考成後編」の暦学の主要部分)、恒星はすべて太陽と同等のものであるらしいこと(「増修消長法」所載の「贈麻田翁」(執筆1798頃?)にある)、麻田が五星距地之奇法を発見したこと(「新修五星法」図説、「ラランデ暦書管見」)などである。また、「五星距地之奇法」や梅園の「贅語」(執筆1786頃)を見ると、彼らが木星の4衛星や土星の「耳」(土星環が輪であることがわからなかった時代の記述)についても知っていたことがわかる。麻田が自分自身で望遠鏡を用いて木星の衛星や土星環を見たということは十分考えられるが、土星の衛星まで捕らえていたかどうかはわからない。梅園が書いた「與麻田剛立書」(1785)の中に「土星の附星」というのが出てくるが、その周辺に土星環についての記述がないことや「贅語」で土星の「耳」を衛星であるかのように記述していることから、これは衛星のことではなく土星環を指していると見られる。

(*注4) 高橋の「ラランデ暦書管見」にニュートンの名は出てくるがその出生地すら未詳となっている。ケプラーのよる3つの法則の発見過程について想像を巡らしている部分では、法則の起源を議論しながらも万有引力の法則については全く触れられていない。高橋は惑星運動を研究しているが筆者の見る範囲では彗星の運動論の記述はない。また、彼は、ラランドの天文書でブラッドレーの光行差の解説を読んだが、光速の有限性についての知識がなかったためにその部分を理解できなかった。さらに、「増修消長法」所載の「贈麻田翁」で、彼は恒星の宇宙空間での運動について議論しているが、ハレーが1718年に発見した恒星の固有運動についての言及がない。一方、志筑の「新書」には、彗星の軌道と惑星の軌道が力学的に同等であること、ブラッドレーとレーマーによって有限の光速度が測定されたことが記載されている。

5. 考察と結論

以上の比較から、「五星距地之奇法」の成立について決着がつけられるような議論をす

ることは不可能であるが、少なくとも最大の注目点を浮かび上がらすことはできると思う。それは、「五星距地之奇法」が、西洋科学史に照らして考えた場合、ケプラーによって「ケプラーの第3法則」が発表された時点（1619年）より古い時代の知識しか含んでいないということである。コペルニクスの地動説と木星の4衛星はいずれもケプラーの第3法則以前から知られていることである。一方、それ以後に行われた、土星の衛星の発見、木星の衛星の定数の精密測定、ニュートン力学や万有引力の法則、彗星の軌道論などの知識は「五星距地之奇法」には載せられていない。これは、麻田や高橋が、ケプラーの第3法則以降の時代の西洋近代科学の知識に関しては、第4節で述べた通りその最重要知識さえほとんど持ち合わせていなかったためと見てほぼ間違いないだろう。

このような段差が生じた理由は、麻田らが、漢籍によってしか西洋から伝わった天文学を系統的に知り得なかったからであると考えられる。彼らがおもに研究していた漢籍（「天経或問」、それから「崇禎曆書」・「西洋新法曆書」の系統の曆書）の内容はいずれも1630年以前の西洋の天文学知識しか含んでいない。「曆象考成」上下編もこれに準ずる。しかし、これらの漢籍にもすでに地球中心と太陽中心の体系の間の座標変換、木星の4衛星の存在と概略の運動（内側のものほど公転周期が短いこと）などは含まれていた。また、彼らが寛政改暦に利用した「曆象考成後編」は、中国で18世紀半ばになって成立したものでカッシニによる曆算方法など新しい内容を含むものであるが、地動説による惑星運動については触れていなかった。麻田たちは西洋天文学を研究していたし、オランダ渡来の知識を全く知らなかったわけではないが、彼らが系統的に研究した学問は決して「蘭学」ではなかったのである。

麻田らが「ケプラーの第3法則」のヒントかうわさのようなものを聞いていた可能性を完全に否定することはできない。これは前に述べたとおりである。また、「五星距地之奇法」の公転の中心天体による天体のグループ分けが当時の日本人の知識としては突出しているかのような印象を与えるのも事実である。しかし、彼らが西洋近代天文学の系統的な知識を全く持たず、さらにその重要な部分についての断片的知識すらほとんど持っていなかったことを見るならば、そのような状況でケプラーの第3法則の「ヒント」だけは聞いていたという可能性はかなり低いといえよう。私は、彼らが漢籍以前の知識と自らの発想に基づいて独自にこの法則に到達した可能性が高いとみたい。

付記：「天界」2006年3月号において、私の前編についての感想をご投稿下さった作間幸太郎さんに深く感謝致します。ご指摘のような歴史研究の見方については私は考えたことはありませんでした。それに照らし合わせてみますと、私が前編で採ったのはおもに第二の方法であったと思いますが、本編は第一の方法も加味したものになっていると期待します。また、麻田一門の者や三浦梅園が机上のディレクタントとして西洋近代科学の研究を始めたというのは私もそのように推論しますが、高橋至時のラランデ曆書以後の幕府天文方による研究は曆算の飛躍的な改善を目指したものであったので、高精度化のために西洋近代科学を導入するというパラダイム構築に比較的早くから向かったものといえると考えます。また、志筑忠雄、帆足萬里は、私的に研究を行った人たちですが、単なる現象の説明にとどまらず、西洋近代科学の記述と東洋哲学の自然観を比較し両立させるための懸命の考察を行っており、これもディレクタントから抜け出そうとする努力と見なせるかもしれません。これらの点は今後の考察を要すると存じます。

文献：

- 1) 「我が国におけるケプラーの第3法則の受容 — 麻田剛立の『五星距地之奇法』を中心にして—」 上原 貞治、天界 Vol. 86, 322-330, 386-390、東亜天文学会、2005.
- 2) 「麻田剛立資料集」、大分県先哲叢書 1999 （「麻田翁五星距地之奇法」所収）.
- 3) 文明源流叢書第2巻、国書刊行会編 1914 （「曆象新書」所収）.