

天文と文化の交流 日本に西洋物理学を紹介した蘭学者たち

真貝寿明

大阪工業大学情報科学部

西洋に近代物理学が誕生したのは 17 世紀でした。コペルニクスによって提唱され、ケプラーやニュートンによって導き出された「地球は太陽をまわる 1 つの惑星にすぎない」とする世界観は、どのように日本に伝えられ、理解されていったのでしょうか。

日本が鎖国をしていたことと、イエズス会が太陽中心説（地動説）を認めなかったことが相乗して、西洋の物理学が日本に伝わるのには時間を要しました。中国の文献を通じて西洋天文学を知って暦の作成へ努力した麻田剛立、太陽中心説の説明に蘭語で初めて触れた本木良永、蘭語で書かれたニュートン物理学の書と 20 年以上格闘した志筑忠雄を対比しながら、1800 年前後の状況を見てみましょう。

1 近代物理学の誕生

地球中心説（天動説）から太陽中心説（地動説）へ、太陽系の惑星モデルを確立する科学革命は 16 世紀から 17 世紀に欧州ですすんだ。キリスト教的世界観から脱却し、できるだけ少数の数学的仮定を用いて、広範囲の自然現象を説明する学問として始まった近代物理学の思想は、科学的精神の柱として、現代に続いている。近代物理学がどの時点ではじまったのかは諸説あるが、表 1 に掲げた 5 名の貢献は欠かすことができない。

表 1: 登場する物理学者の氏名表記と生没年と主な業績

ニコラス・コペルニクス 1473–1543	Nicolaus Copernicus 尼古拉斯・哥白尼	太陽中心説の提唱 1543 年『天体の回転について』
ティコ・ブラーエ 1546–1601	Tycho Brahe 第谷・ブラ赫	詳細な天体観測
ヨハネス・ケプラー 1571–1630	Johannes Kepler 刻白爾	惑星運動の法則 1609 年『新天文学』, 1618 年『宇宙の調和』
ガリレオ・ガリレイ 1564–1642	Galileo Galilei 伽利略	慣性の法則, 振り子の等時性, 天体望遠鏡の発明
アイザック・ニュートン 1642–1727	Isaac Newton 牛頓	運動方程式, 微分・積分, 万有引力の法則 1687 年『自然科学の数学的諸原理』

ケプラーは、コペルニクスの提唱した太陽中心説を支持した初めての天文学者としても知られている¹。当時知られていた惑星の数が 6 つであることに理由付けを与えようとした彼は、球

¹太陽中心説 (heliocentrism) は、地動説とも訳されるが、地球が動いているかどうかという概念と、太陽が中心にあるかどうかという概念は若干異なる。例えば、ティコ・ブラーエは、自らの観測で恒星に年周視差が見出せなかったことから、地球は動かず、地球以外の惑星は太陽を中心として動いているという太陽系モデルを提唱した。相対的な位置関係は地球が太陽を公転しているときと等価になる。

の次に対称性が高い正多面体（「プラトンの立体」とも呼ばれる）の数が5種類のみに限られることに気づき、太陽中心説と「プラトンの立体」を組み合わせた独自の太陽系モデルを考えていた（図1）。そして、自説を証明しようと、当時最高精度の天体観測を行っていたティコ・ブラーエのもとへ弟子入りする。

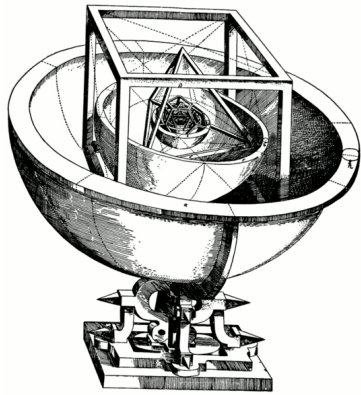
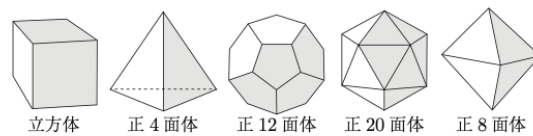


図 1: 『宇宙の神秘』(1596 年) に描かれたケプラーによる初期の多面体太陽系モデル. 外側から土星の軌道球, 立方体, 木星の軌道球, 正 4 面体, 火星の軌道球, 正 12 面体, 地球の軌道球, 正 20 面体, 金星の軌道球, 正 8 面体の順, 水星の軌道球の順である.



はじめにケプラーに渡されたデータは、ブラーエ自身も扱いに困っていた火星の観測データだった [1]。他の惑星は円軌道で説明ができたのだが、火星はわずかにできなかった。厄介なデータだったのである。ところが、これが、歴史的な大発見へとつながることになる。

膨大な計算の結果、ケプラーは、火星の軌道は円ではなく、太陽を焦点の 1 つとする楕円であることを発見した。実はデータの揃っていた 5 惑星（水星を除く）の中で、離心率が一番大きい（円軌道から一番ずれている）のは火星だったのだ。

ブラーエは、ケプラーが訪ねてきた翌年に急逝する。残されたデータを解析したケプラーは、自らが提案するプラトンの立体モデルと、ブラーエのデータが合致しないことを見いだした。ケプラーは悩んだ末、自分のモデルを捨て去ることにした。

ケプラーは、その後、惑星の動く速度が一定ではなく、楕円軌道の焦点からの扇形を用いた面積で決まっていることを発見し、『新天文学』(1609 年) を著して発表する。さらにその 10 年後には、惑星の公転周期と軌道長半径の関係についても法則を発見した（『世界の調和』(1619 年)）。これら 3 つをケプラーの惑星運動の法則と呼ぶ。まとめると次のようになる。

ケプラーの惑星運動の法則 (1609 年, 1618 年)

第 1 法則： 楕円軌道の法則

惑星は太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道を描く。

第 2 法則： 面積速度一定の法則

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は、惑星それぞれについて一定である。

第 3 法則： 調和の法則

惑星の公転周期 T の 2 乗と、惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分） R の 3 乗の比 T^2/R^3 は、惑星によらず一定である。

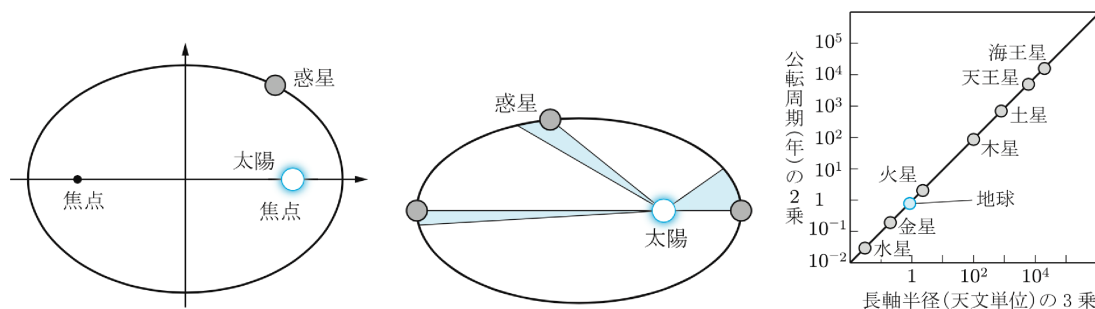


図 2: ケプラーの惑星運動の法則

万有引力の法則

ケプラーの発見した事実が、物理法則として成立することがニュートンによって示される。ニュートンが万有引力の考えを、リンゴが目の前で落ちることから思いついた、というエピソードは有名である（本人が友人に天啓を受けた話として披露した実話らしい）。重力の原因を地球からの引力と考えるのは自然な流れだが、ニュートンは、あらゆる物体間に引力がはたらくと考えてみた。そうするとリンゴと地球とはお互いに引っ張りあっていることになるが、両者はあまりにも質量が異なるためにリンゴだけが地球に落ちてゆくように見えることになる。

ニュートンは、より具体的に万有引力の大きさ F を

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$

と考えた。質量 m と M の質点が r だけ離れて置かれているとき、両者にはこの式で与えられる引力が作用する、という法則である。 G は定数であり、万有引力定数と呼ぶ。

この万有引力（あるいは重力）を運動方程式に代入すると、天体の運動が計算でき、ケプラーの惑星運動の法則が「導ける」ことが判明した。すなわち、万有引力で引き合う物体は楕円や双曲線・放物線などの2次曲線軌道を描いて進むのが普通であり、円運動はその特殊な状況にすぎないこと、面積速度一定の法則は角運動量保存則の言い換えであること、そして、束縛された楕円運動軌道ではケプラーの第3法則が必ず成り立つことである（導出については、例えば拙著 [2]（第6章）をご参照いただきたい）。

2 西洋科学の中国・日本への伝来

中国書経由の伝来

コペルニクスが太陽中心説の提案書『天体の回転について』を出版したのは1543年である。同年、日本には鉄砲が伝来し、49年にはザビエルが布教をはじめた。すでに大航海時代がはじまり、ヨーロッパの文明はキリスト教の布教とともに、世界各地へ伝わり始めた頃である。だが、宇宙観に関わることは宗教上の解釈も絡んでなかなかすぐには伝えられなかった。

ガリレイの裁判で知られるように、キリスト教は太陽中心説の解釈を認めなかった。そのため、イエズス会の宣教師たちは、天動説を頑なに守りながら、最新の天文観測データを日本と中国に伝えることになった [3, 4]。日本や中国では、暦を正確に作ることが政権を握った者の役

目であったため、天動説であったとしても惑星の運行や日食・月食の予報が正確にできればそれで問題とはならなかった。

ケプラーの惑星運動の法則(1609, 1619)が発表された後でも、西洋天文学を紹介した中国の書『崇禎暦書』(1620頃),『暦算全書』(1630頃),『西洋新法暦書』(1645),『天経或問』(1675),『暦象考成』(1723)では、いずれもプトレマイオスの周天円による説明か、ブラーエが信じていた「地球のまわりを太陽が周回し、惑星は太陽を周回する」という地動説の一步手前の説が載っている。将軍徳川吉宗によって禁書令が緩められたのち、これらを唯一の天文書として研究してきた江戸の天文方も同様の知識で止まっていた。

江戸時代には、1685年に渋川春海によって初めて日本独自の暦、貞享暦(じょうきょうれき)が採用された。その後、吉宗によって最新の天文学を導入した改暦が命じられるが、それが実現されるのは、やや中途半端な1755年の宝暦暦(ほうりゃくれき)を経て、1798年の寛政暦まで待たなければならない。ただし、寛政暦をつくるときには、ケプラーによる楕円軌道・不等速運動説(地動説含まず)を紹介した中国書『暦象考成後編』(1742)が入手できていたが、まだ地動説を採っているわけではない。

蘭学書経由の伝来

18世紀末には、西洋の物理学・天文学がオランダ語に翻訳された本(W.J.Blaeu 著(1666), G.Adams 著 J. Ploos 蘭訳(1770), J.Keill 著 J. Lulofs 蘭訳(1741), de Lalande 著 Strabbe 蘭訳(1773))が、蘭学者・本木良永(『天地二球用法』(1774, 安永3)), 志筑忠雄(『暦象新書』(1802, 享和2)), 高橋至時(『ラランデ暦書管見』(1804, 文化1))によって邦訳されはじめる。特に、志筑によって、内容が理解された上で物理学が紹介されるにおよび、地動説にもとづいた暦が天保暦(1844年, 天保15)として使われることになった。

図3にこれらの受容過程を記す。

表 2: 本稿で登場する日本人の生没年と、天文に関する書

渋川春海(保井春海)	1639-1715	貞享暦(1685),『天文瓊統』(1698)
三浦梅園	1723-1789	
麻田剛立(綾部妥彰)	1734-1798	
本木良永	1735-1794	『天地二球用法』(1774)『太陽窮理了解説』(1793)
間 重富	1756-1816	寛政暦(1798),『新修五星法及図説』
志筑忠雄(中野柳圃)	1760-1806	『暦象新書』(1798-1802)
高橋至時	1764-1804	寛政暦(1798),『ラランデ暦書管見』(1803)
西村太沖	1767-1835	
司馬江漢	1747-1818	『刻白爾天文図解』(1808)
帆足万里	1778-1852	『窮理通』(1844)
渋川景佑	1787-1856	天保暦(1844)

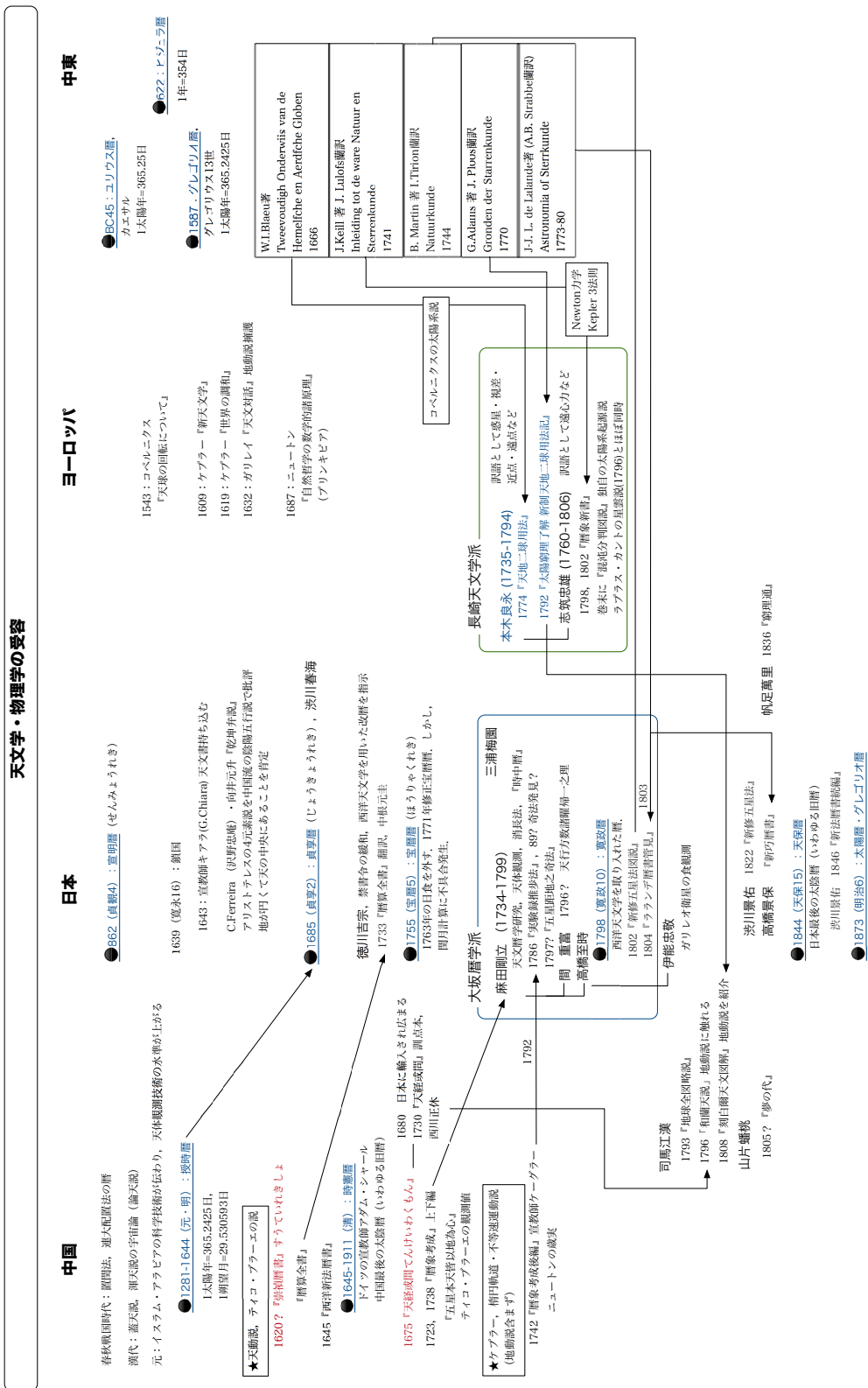


図 3: 中国・日本・ヨーロッパの天文・物理の受容に関する年表

3 麻田剛立とケプラーの惑星運動の第3法則

麻田剛立

豊後・杵築（現大分県）の綾部妥彰は幼い頃より天文現象に興味をもち、自ら渾天儀を改良するなど観測と天体位置の計算に勤しんだ。28歳のときには暦にない部分日食（1763年9月1日）を予言し的中させた。この日食の存在を事前に地元で公言していたため、その的中は広く伝えられることになった。また、天体望遠鏡を製作し、日本ではじめて月面のクレーター観察図を残したことで知られている。

医者として藩に仕える身分であったが、天文好きが高じて脱藩し、大坂に移り、麻田剛立と自身を名乗った。後に自身が先事館とよぶ天文研究の私塾を開き、寛政暦（1798年）をつくることになる高橋至時や間重富などの後継者を育てた。

独自発見か

さて、麻田剛立が独自にケプラーの第3法則を発見した、という話がある。根拠とされるのは、次の文献である [5, 6]。

- 『五星距地之奇法 (1796–98 頃?)』
全文が [5, 6] に掲載されている。麻田が著したものを麻田の門人である西村太沖が写本したと考えられている。
- 『新修五星法図説』 (1802)
麻田の門人である高橋至時による著の一部。（同様の記載が高橋至時の次男である渋川景佑による『新修五星法』 (1822) [7] にも見られる。）
- 『ラランデ暦書管見』 (1804) 高橋至時
- 『星学続稿』 5 の 1224 章，間重富
- 『寛政暦書続録』 卷 3，渋川景佑

例えば、『新修五星法図説 (1802)』には次の記載がある。

以五星一周日数及歳周求五星本天半径，置本星一周日数以歳周除之，得本星一周之年数，立法開之，得商，自乗之，得本星本天半径與日天半径比例数 是麻田翁所創法

すなわち、惑星が何年かかって一周するかを求め、その立方根を自乗することで、惑星の軌道半径を求めることができる、としている。これを麻田翁の創られた「五星距地之奇法」であると説明している。これは（楕円運動こそ前提としていないが）ケプラーの惑星運動の第3法則そのものである。

しかし、これらの文献は、いずれも麻田門下の者による記載であり、麻田本人がいつこの法則に思い至ったのかの年月日が定かではない。そのため、本人が本当に独自にケプラーの第3法則を発見したのかどうか、諸説繰りひろげられている。

論点となるのは、

- (a) 麻田剛立が独自に法則を発見した。
- (b1) 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書あるいはその翻訳原稿に書かれたケプラーの第3法則を知った。

(b2) 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書の内容を知り得て、アイデアを得た。

(b3) 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書を見て、内容を理解できなかったが、数字からアイデアを得た。

のいずれが真実か、という点である。この論点に関して、研究論文としては中山 (1969)[8], 研究書として渡辺 (1983)[6] が詳しく、それらを踏襲した上原 [9] がインターネット上で入手可能である。中山と渡辺は (b1)(b2)(b3) のいずれか、上原は (a) という立場である。また、藤沢・黒星 (1980)[10] は、当時のデータから、公転周期と惑星の公転軌道半径を求めることが不可能ではなかった可能性がある、という見解を述べている（ただし、この論文で導かれる軌道半径の数値は、後述する麻田の用いた値と異なる）。

独自発見説への懐疑

麻田は中国書『暦象考成 上下編/後編』を通じて地動説の存在とケプラーの第2法則までは知っていたはずである。しかし、蘭語を学ぶ機会はなく、蘭学書の入手も難しかった。麻田が没する直前に寛政暦（寛政10年, 1798年）に改暦されたが、寛政暦はまだブラーエの天動説に依っている。ラランデの書が江戸の天文方に伝えられたのは1802年だった。

一方、同時期に、ケイルの著述による蘭学書の理解が志筑らによって進められていた。この書の中にはケプラーの第3法則がデータ付で記載されていた。ケイルの書を翻訳した『暦象新書』は1798年に上編、1802年に下編が完成している。

中山 [8] によれば、志筑が『暦象考成』を批判した文章として『読暦象考成』という写本が残されている。ここでの『暦象考成』はティコ・ブラーエのモデルを説明した上下編の方であり、志筑はケイルの書の立場（地動説・ケプラーの楕円運動）からその内容を批判し、自身の翻訳解説書『暦象新書 上編 (1798)』にもその内容があるという。したがって、ケイルの書を翻訳中であった志筑は、麻田が「第3法則を見つけた」とされる1790年代にすでにその知識を持っていたと考えられる。

中山 [8] は、次のように記している。

志筑忠雄は寛政改暦以前にあつて『暦象考成』を批判し、中国の水準をすでに抜いていたといふことができる。麻田一統が『暦象考成』を有難がって読んでいた間に、志筑忠雄はケイルをマスターした上で、『暦象考成』を批判できたのである。

中山 [8] も渡辺 [6] も言及しているが、麻田がケプラーの第3法則「五星距地之奇法」を導いていたとしても、その意味を理解していたかどうか、という問題がある。

数値の一致

次に、麻田の提示している数値を検討したい。『五星距地之奇法』には5惑星の数値（表3に示す）が記載されている。その5惑星のデータ $\{R, T\}$ の組を $T \sim R^\alpha$ の数式でフィットさせてみると

$$T \sim R^{1.50000} \quad (T^2 \sim R^3) \quad (2)$$

と、ピッタリと（あまりにもピッタリと）ケプラーの法則の式に一致する。一方、ケプラー自身の『宇宙の調和』にある惑星データを使って同様のベキを求めると

$$T \sim R^{1.50369} \quad (3)$$

表 3: 『宇宙の調和』の数値 T_0, R_0 と『五星距地之奇法』の数値 T_1, R_1 (それぞれ基準値が異なるので値は違うが, 有効数字を比較されたい).

	周期 T_0	半径 R_0 (長, 短)	周期 T_1	半径 R_1
水星	87.97	308 476	0.24085	38711
金星	224.7	716 726	0.61521	72335
地球	365.25	983 1017	1	100000
火星	686.983	1384 1661	1.88073	152365
木星	4332.62	4948 5464	11.856	519947
土星	10759.2	8994 10118	29.4217	953042

である. また, 現代の数値を用いると

$$T \sim R^{1.50444} \quad (4)$$

である.

麻田の記した惑星の公転半径と周期の値が理論値と厳密に一致するのは科学の視点から考えると「問題」である. ケプラーの法則は太陽の周りを 1 つの惑星だけが公転するときにはそのまま成り立つが, 複数の惑星が存在する現実では, 惑星間にも万有引力がはたらくために,それほど理想的な関係にはなり得ないからだ. 麻田のデータは, 周期 T_1 の観測値から, 単純に式 (2) を用いて, 半径 R_1 を計算したものとも考えられる. (ケプラーは, 公転半径をブラーエのデータから幾何学的に導いた上で, 式 (3) を得ている.)

ニュートンがケプラーの第 3 法則を導出して以降は, 惑星の公転軌道半径は, 周期の観測値からケプラーの法則を用いて計算されることが主となり, データの精度が向上した [8]. もし, 麻田が, 中国書に記載されたデータを参考に, 自らの観測によって得られたデータを補正しているような場合, 元の中国書 (『天経或問』や『暦象考成上下編』) のデータに, すでにケプラーの法則が適用されていた可能性はないだろうか. 非常によいデータが手元にあれば, それらの数値から関係式を「見つける」ことは可能だったであろう. しかしそうすると「法則を発見した」とは言えなくなる.

『五星距地之奇法』では, 麻田は地動説に言及してはいるものの, 惑星が楕円運動をしていることには触れていない. ケプラーの第 3 法則は, 惑星が楕円運動していることを踏まえて導き出された法則であるが, 麻田の主張は, 円運動に対して展開されている「限定版」であることも注意を促したい.

4 本木良永: 太陽中心説に初めて出会ったオランダ通詞

本木良永

江戸時代の長崎には, オランダとの貿易の窓口として, 日常会話の通訳を行うオランダ通詞とよばれる家系があった. 杉田玄白の『蘭学事始』には, 当時の幕府はオランダ通詞に, 蘭語の読み書きを禁じていて, 彼らは発音を仮名で写していた, という記載がある. しかし, そのオランダ通詞として, 語学者としても優れた本木良永が多く of 蘭語の天文学書を紹介していった. ただし, 自ら蘭書を翻訳するという形ではなく, お上から命ぜられて該当書を抄訳する, というスタイルであった.

本木良永は蘭語にも天文地理にも詳しかったため、役所より蘭語の天文地理書の翻訳を命ぜられた。その1つが『天地二球用法』(1774, 安永3)である。原著はオランダの地図製作者ブラウ(Willem J. Blaeu, 1571–1638)による手引書「天地両球儀の二様の入門」(1633年刊)である。ラテン語版として書かれた物がオランダ語訳(1666年刊)され、そのはじめの部分が翻訳された。この書は、第一部にプトレマイオスの太陽系の説を誤ったものとして紹介し、第二部でコペルニクスの説を正しいものとして紹介している。本木は、第二部をごく短く翻訳し²、これが、コペルニクスによる太陽中心説が初めて日本に紹介された書となった(中国よりも早いことになる³)。なお、本木が翻訳したものを、同じくオランダ通詞で漢学に精通していた松村元綱が校訂している。後に、三浦梅園が松村から太陽中心説を伝え聞くことになる。

本木良永は晩年に、『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』⁴を翻訳している。原著は、英国王室御用の数理機器商だったアダムス(George Adams, 1750–1795)が天・地球儀を販売した際に添付した説明書をプロース(J. Ploos, ?–?)がオランダ語訳(1769)したものである。西洋天文学による改暦を目指していた松平定信に、この本の翻訳を寛政3年(1791)に命じられ、第1巻として1792(寛政4)年3月に訳稿を幕府に呈進し、翌年7月に全7巻の翻訳を終えている。太陽窮理とは太陽系のことで、惑星という訳語が初めて登場する。ケプラーによる惑星の楕円軌道説を紹介しているが、天文書ではなく、一般的な説明書の位置付けであり、改暦に役立つレベルではない。なお、この書では、すでに太陽中心説は正しいものとして扱われていたため、本木は全文を翻訳している。

時折、本木は「日本にコペルニクスを紹介した蘭学者」として紹介されるが、実情は翻訳家と捉えるのがよさそうだ。中山は「良永は実際的な天文学家でもなく、熱心な太陽中心説の唱導者でもない。また忠雄のような思想的深さもない。元来は忠実な翻訳家である」[13]と手厳しい。

地球中心説か太陽中心説か

当時、日本の暦法づくりを目的とする日本の天文学は、先に述べたように大坂の麻田剛立らが名を挙げている。彼らが論拠としたのは『暦象考成』上下編、および『暦象考成後編』で、西洋天文学が中国経由で伝えられたもの(したがってコペルニクス的な太陽中心説の視点には立っていないもの)だった。前者はブラーエ流の地球中心説、後者はケプラーの楕円運動に触れながらも月と太陽の運動だけを対象としたものだった。

しかし、日食や月食を正しく予報する暦をつくるのであれば、座標の原点をどこにおくかだけの問題であり、相対的な位置関係を正しく示すブラーエ流のモデルで十分な情報になる。したがって中国や日本では、地球中心説か太陽中心説かという根源的な問いかけは主流にはならなかったようだ[11]。

本木良永が訳した太陽中心説の内容は、ケプラーの説をデータとともに説明しているもので、まだニュートンによる理論的な説明がなされたものではなかった。だが、興味ある解釈として訳出され、三浦梅園によって紹介されたり、後に江戸の町人学者である司馬江漢によって、一般向けの啓蒙書として『刻白爾天文図解』(1808, 文化5)として図入りの書としてこの説が紹介された(刻白爾はケプラーを指す中国名だが、司馬江漢はコペルニクスと間違えて紹介している)。

²中山[14]によれば、本木がこの本以前に翻訳した『和蘭地球図説』では、コペルニクスとキリスト教との解釈論争のくだりがあって、全訳をためらった跡がみられるという。

³中国に太陽中心説が正しく伝わったのは、ブノア「坤輿全図」(1767)が「地球全図」として翻訳された1802年とされる。この書は日本では渋川景佑「新法曆書続編」(1847)に引用された[14]。

⁴『太陽窮理了解説』と略されることも多い。日本哲学全書第八巻(第一書房, 1937)に所収。

5 志筑忠雄：日本で最初の近代物理学の理解者

志筑忠雄

志筑忠雄は、1760(宝暦 10) 年に中野家に生まれ、オランダ通詞となるために志筑家に入った。十代の頃に数年通詞として働くが、数年で辞め、以降は蘭学者としてオランダ語の文法書『和蘭詞品考』を著したり、本木良永のもとで天文学を習った。携わった分野は広く、いくつかの旅行記から抜き書き訳した『万国管き』(きは門に規) (1782) では日本で初めてコーヒーに言及したとか、ケンペル (E. Kämpfer, 1651–1716) の『日本誌』(1727) を訳した『鎖国論』(1801, 享和 1) では、鎖国という言葉を作ったことでも知られている。

天文・物理分野としては、ケイル (J. Keill, 1671–1721) の物理学書を翻訳した『暦象新書』(上編・中編・下編)⁵の業績が重要である。1798(寛政 10) 年から 1802(享和 2) 年にかけて完成された。

ケイルはニュートンの側にいた物理学者で、ニュートンが微分積分の発明の先取権を数学者のライプニッツと裁判したときにはニュートン擁護の弁論をしたとも言われている。ケイルは 1700 年にオックスフォード大学で行った講義録を『物理学入門』(1702) として出版した。当時の学術書なのでラテン語である。後に『天文学入門』(1718) も出していて、それらをオランダのルロフス (J. Lulofs, 1711–68) が、1741 年にオランダ語に翻訳した。この本が日本に持ち込まれ、志筑の手元には 1780 年頃にあったらしい。したがって、志筑は、20 年以上の長きにわたって、ケイルの著の理解に挑んだことになる。

ニュートン物理学の理解へ向けて

ケイルの書は、ニュートンの運動の 3 法則、万有引力の法則(重力が距離の逆 2 乗の大きさで作用すること)を説明し、太陽中心説に理論的な根拠を与えるものであった。そして、ニュートンの説が惑星の運動を見事に説明できることから、粒子間にはたらく力を仮定して、流体・物質化学・電磁気学・生体现象の説明を試みようとする野心的なもので、600 ページを超える大著である。

オランダは初期の頃からニュートン物理学の輸入に熱心だった。ルロフスの師の一人は、ライデン瓶⁶の発明で有名なミュッセンブローク (P. van Muschenbroek, 1692–1761) であり、ミュッセンブロークの著した『自然哲学の諸原理』(1739) も後に日本に持ち込まれて、帆足万里が『窮理通』(1844) として、力学・光学以外の西洋物理学を日本に紹介することになる。

ここで、少しニュートン力学が西洋で認められていく過程を少しおさらいしておこう [15]。

- ガリレイによって発見された「ふりこの等時性」(ふりこの周期はひもの長さで決まる、という法則) は、重力のおよぼす単振動現象として説明される。しかし、赤道付近と高緯度地域では、ふりこの周期に若干の違いが見られ、その原因として、自転による遠心力の影響以外に、地球の形状が球からずれていることが予想された。このようにして地球の扁平度が測定されたのが 1736 年である。
- ニュートンの『プリンキピア』の出版を助けた天文学者のハレー (E. Halley, 1656–1742) は、ニュートン力学を用いた解析から、過去に出現した彗星のうち、76 年周期で周期的に運動しているものを見つけた。そして 1758 年に大きな彗星が回帰することを予言し、的中させた。本人の死後ではあるが、ハレー彗星として名付けられている彗星である。

⁵「文明源流叢書 (2)」やまと総業 (1922) 所収。

⁶ガラス瓶の内側と外側に銀メッキを施して、静電気を蓄える装置。

- 数学者のラプラス (P-S. Laplace, 1749-1827) は、摂動法の計算を開発し、木星と土星の軌道が約 900 年の周期で軌道の長短を変化させているものの、太陽系は安定であることを示した。これらの結果を含めて全 5 巻の『天体力学概論』(1799-1825) を刊行する。
- 天王星の軌道がニュートン力学による位置予報とずれることから、その外側にもう一つ惑星が存在することが予想された。1846 年、フランスではルヴェリエ (U. Le Verrier, 1811-77) が予想軌道を算出し、その手紙を受け取ったドイツのガレ (J. G. Galle, 1812-1910) が直ちにその位置に惑星を発見する。一方イギリスでは同時期にアダムス (J. C. Adams, 1819-92) が予想軌道を算出し、チャリス (J. Challis, 1803-82) がその位置に惑星を発見する。

このように、志筑がケイルの書と格闘した時代は、まだニュートン力学が確立して一般に認知されていたとは言い難い頃だった。ケイルの書は、ハレー彗星の確認前の出版である。

志筑忠雄は、ケイルの書を単に翻訳するのではなく、自ら理解し考察（「忠雄曰く」で始まるコメント）を加えながら『暦象新書』を書いている。志筑の著書とケイルの章との対応は、「洋学（下）」[12]にある吉田忠による補注にあるが、例えばケイルの第 1 章の力学法則は『動学指南』(1782) と『暦象新書中篇』(1800) に、6 章の分子論は『求力法論』(1784) という具合である。

初期に翻訳された『求力法論』の冒頭には、自らが新しく訳語として当てた言葉を列挙している。力・求力（引力）・真空・属子（分子）・蝕・粘・柔軟・無量・合成・液・案・法などである。この他、重力・遠心力・動力・速力なども志筑の訳語であり、天動説・地動説という言葉は、その後中国に伝わることになった。

自然哲学の拠り所を求めて

ニュートン力学は、逆二乗則をみたす万有引力の存在を仮定することから、自然現象を説明する。万有引力の由来については言及せず、必要となる初期条件についてもその由来については言及しない。それまでの西洋の立場であれば「神の存在」に逃げたはずであるが、科学の目標を原因の探求 (Why) から現象の記述 (How) へと昇華させたところが、近代科学発祥と言われる所以である。ニュートン自身は宗教的ではない意味で超自然的な「神」という言葉を用い、「太陽系は、神の深慮と支配から生まれた」「初期条件には神の一撃があった」という記載をしている。

志筑は、しかし、ニュートン理論は現象論的であって原理的側面に欠けていると感じたようだ。西洋の「神」に相当するものを求めて、東洋思想の「気」に由来を求めてゆく。陰陽五行論を背景とする東洋的自然哲学を土台として、ケイルに記載された粒子の集合が引力をもたらす説明を試み、そして独自の天体（太陽系）の形成論を提案していくことになる（『暦象新書』下巻の最後の付録『混沌分判図説』）。この考えについての紹介は別の機会にするが、同時代のカント (I. Kant, 1724-1804) の太陽系起源説 (1755) やラプラスの説 (1796) にならぶ功績と言われている。近代自然科学の土壌が皆無だった日本で、個人の努力が、西洋に匹敵するほどに成長を遂げたのである。

残念ながら、志筑ら江戸時代末期の蘭学者の功績は、ペリー来航後の開国騒動・明治維新後の西洋文化礼賛の過程で長く忘れ去られることになった。志筑の『暦象新書』の業績が狩野亮吉によって再発見されるのは明治 28 年になってからである [16]。

参考文献

- [1] 山本義隆『重力と力学的世界 古典としての古典力学』（現代数学社，1981），山本義隆『世界の見方の転換 3』（みすず書房，2014）
- [2] 真貝寿明『徹底攻略 微分積分』（共立出版，2009）
- [3] N・セビン著 中山茂・牛山輝代訳『中国のコペルニクス』（思索社，1984）
- [4] J・ニーダム著 東畑精一・藪内清監訳『中国の科学と文明 (5) 天の科学』（思索社，1991）
- [5] 大分県立先哲資料館編『大分県先哲叢書 麻田剛立 資料集』（大分県教育委員会，1999）
- [6] 渡辺敏夫『近世日本科学史と麻田剛立』（雄山閣出版，1983）
- [7] 『近世歴史資料集成 第III期 日本科学技術古典籍資料 天文編2』（科学書院，2000）
- [8] 中山茂『ケプラーの第3法則と志筑忠雄・麻田剛立』科学史研究 II (1969) 49
- [9] 上原貞治『我が国におけるケプラーの第3法則の受容』東亜天文学会「天界」2005年6/7月号，『同II』2006年6月号，『同III』2007年2月号，『同IV』2007年5月号，『同V』2007年7月号
- [10] 藤沢知子，黒星瑩一，東京女子大学紀要 30-3 (1980), 584
- [11] 藪内清『近世天文学史』（恒星社厚生閣，1947）[藪内清著作集第四卷（臨川書店，2018）所収]
- [12] 広瀬秀雄，中山茂，小川鼎三『洋學（下）』（岩波書店，日本思想体系 65，1972）
- [13] 中山茂『本木良永の天文書翻訳について』蘭学資料研究会研究報告第66号（1960）蘭学資料研究会
- [14] 中山茂『近代科学と洋学』[広瀬秀雄，中山茂，小川鼎三『洋學（上）』（岩波書店，日本思想体系 64，1972）]
- [15] 真貝寿明『現代物理学が描く宇宙論』（共立出版，2018）
- [16] 大森実，『『暦象新書』の研究史』科学史研究 68 (1963) 157

-
- 本ファイル，および解説に使用したビューグラフ（投影ファイル）は，
<http://www.oit.ac.jp/is/shinkai/nara2020>
より取得可能です．