

麻田剛立とケプラーの惑星運動第3法則*

真貝 寿明[†]

情報科学部 情報システム学科
(2016年9月24日受理)

Goryu Asada and Kepler's third law of planetary motion

by

Hisa-aki SHINKAI

Department of Information Systems, Faculty of Information Science and Technology

(Manuscript received September 24, 2016)

Abstract

Kepler formulated his third law of planetary motion in 1618, and Newton established its physical explanation in the late 17th century. However, these facts were not directly introduced to the Japanese due to the closed-door policy of Japan and due to the rejection of the heliocentric theory by the Roman Catholic Church. The first appearance of these physical laws was in Tadao Shizuki's (志筑忠雄) translation of the Dutch textbook *Rekisho-Shinsho* 『暦象新書』 (1798, 1802). However, a self-educated astronomer named Goryu Asada (麻田剛立) is sometimes credited with the independent discovery of Kepler's third law. In this study, we review the debates on this issue and point out some opposing views.

キーワード: 天文学史, 物理学史, 天文文化, 江戸時代

Keyword: History of Astronomy, History of Physics, Astronomy and Culture, Edo era

*第15回天文文化研究会(2016年9月3日, 大阪工業大学)にて発表

[†]hisaaki.shinkai@oit.ac.jp

1 ケプラーの惑星運動の法則

近代物理学がどの時点ではじまったのかは諸説あるが、次の5名の活躍は欠かすことができないだろう。

- ニコラウス・コペルニクス*：地動説の提唱（1543年『天体の回転について』）
- ティコ・ブラーエ†：詳細な天体観測データを蓄積。
- ヨハネス・ケプラー‡：惑星運動の法則を発見（1609年『新天文学』, 1618年『宇宙の調和』）
- ガリレオ・ガリレイ§：慣性の法則, 振り子の等時性, 天体望遠鏡の発明など。
- アイザック・ニュートン¶：運動方程式, 微分・積分, 万有引力の法則の発見など。

本稿では、ケプラーによる惑星運動の法則が、中国・日本にどのように伝えられていったのかを紹介する。

ケプラーは、コペルニクスの提唱した地動説を支持した初めての天文学者としても知られている。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、地動説と「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（1596年『宇宙の神秘』）。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。

*Nicolaus Copernicus (1473-1543) ニコラス・哥白尼

†Tycho Brahe(1546-1601) 第谷・ブラヘ

‡Johannes Kepler (1571-1630) 刻白爾

§Galileo Galilei (1564-1642) ガリレオ

¶Isaac Newton (1642-1727) 牛頓

^{||}正4面体（正三角形の面が4つで構成される三角

はじめにケプラーに渡されたデータは、ティコ自身も扱いに困っていた火星の観測データだったという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つた。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^{**}。

ティコは、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、ティコ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（図1）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。

錐), 正6面体(立方体), 正8面体, 正12面体, 正20面体の5種類。

**離心率はどれだけ円軌道からずれているかを示す。長半径を a , 短半径を b とすると, 離心率 e は, $e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$. 円ならば $e = 0$ となる. 火星軌道の離心率は 0.09, 地球は 0.02 である。

ケプラーの惑星運動の法則

第1法則：楕円軌道の法則

惑星は太陽を焦点の一つ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： T^2/R^3 一定の法則

惑星の公転周期 T の2乗と、惑星の描く楕円の長半径（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。

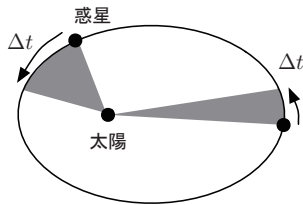


図 1: 面積速度一定の法則

Fig. 1: Kepler's second law of planetary motion.

万有引力の法則

ケプラーの法則は、ティコの観測データから得られた現象論的な法則である。後に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（『プリンキピア』（1687））。

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。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違う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

中国書經由の伝来

コペルニクスが地動説の提案書『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、キリスト教は地動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、暦を正確に作る事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『崇禎曆書』(1620頃),『曆算全書』(1630頃),『西洋新法曆書』(1645),『天経或問』(1675),『曆象考成』(1723)では、いずれもプトレマイオスの周天円による説明か、ティコが信じていた「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(図2)。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(ほうりやくれき)を経て、1798年の寛政暦まで待たなければならない。ただし、寛政暦をつくる際には、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『曆象考成後編』(1742)が入手できていたが、まだ天動説を採っている。

蘭学書經由の伝来

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))や高橋至時[†] (『ラランデ曆書管見』(1804)), 志筑忠雄[‡] (『曆象新書』(1802))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)として使われることになった。

一般向けには、司馬江漢[§]による『刻白爾天文図解』(1808)で地動説が紹介された[¶]。

図3にこれらの受容過程を記す。

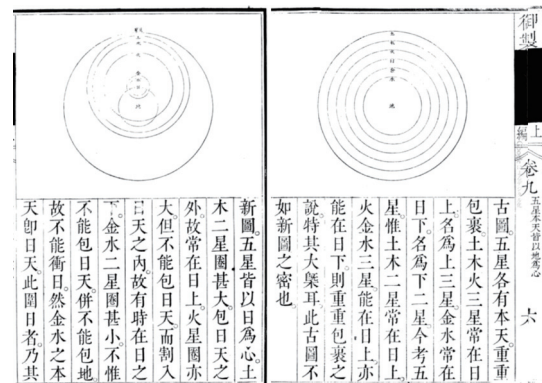


図2:『曆象考成 五星本天皆以地為心』にある古図と新図。天動説とティコ(第谷)の説が紹介されている。(https://books.google.co.jp/より)
Fig.2 : *Rekishou-Kosei* introduces two solar-system models.

^{††} 渋川春海(1639-1715)

* 本木仁太夫良永(りょうえい)(1735-1794)

[†] 高橋至時(1764-1804)

[‡] 志筑忠雄・中野柳圃(りょうほ)(1760-1806)

[§] 司馬江漢(1747-1818)

[¶] 刻白爾(こっべる)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。

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^{6),8)}。

- 『五星距地之奇法（1796-98頃?）』
全文が^{6),8)}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『新修五星法（1822）』⁷⁾ 渋川景佑§による著の一部にもあることも今回発見した。）
- 『ラランデ暦書管見（1804）』高橋至時
- 『星学続稿』5の1224章、間重富

*綾部妥彰（やすあき）・麻田剛立（1734-1798）

†間重富（1756-1816）

- 『寛政暦書続録』巻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）¹⁰⁾、研究書として渡辺（1983）⁸⁾が詳しく、それら

‡西村太沖（たちゅう）（1767-1835）

§渋川景佑（1787-1856）（高橋至時の次男）

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)¹¹⁾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)。

なお、一般書における記述としては、麻田がケプラーの第3法則を独自に導いたかどうかについては

- 独自に導いた(鹿毛¹²⁾)
- 真偽不明(中村¹³⁾、嘉数¹⁶⁾)
- 話題に触れず(中村¹⁴⁾、荒川¹⁵⁾)

となっている。

独自発見説への懐疑

麻田は中国書『曆象考成 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翻訳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『曆象新書』は1798年に上編,1802年に下編が完成している。

中山¹⁰⁾によれば、志筑が『曆象考成』を批判した文章として『読曆象考成』という写本が残されている。ここでの『曆象考成』はティコ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『曆象新書 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¹⁰⁾は、次のように記している。

志筑忠雄は寛政改暦以前にあって『曆象考成』を批判し、中国の水準をすでに抜いていたということが出来る。麻田一統が『曆象考成』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、『曆象考成』を批判できたのである。

天行方数諸曜帰一之理

中山¹⁰⁾も渡辺⁸⁾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。渡辺⁸⁾は、麻田の門下である間重富が「五星距地之奇法」の原理として「天行方数諸曜帰一之理」を思いつき、麻田に絶賛された、というくだりを紹介している。出典は、間重新(重富の息子)の『先考大業先生事迹略記』に記載されているそうだが(原著未確認)、渡辺⁸⁾の解説も上原⁹⁾の解釈も、無理に数式をいじって整合性をもって関連づけようという立場である。以下は、例示されたものを並べただけ、とする私の解釈である。

- 間は、ふりこ(垂球)の周期(往復する時間) T が、ひもの長さ l によって決まることを知っていた。ガリレオが見つけた

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2)$$

という関係式である。 g は重力加速度(=9.8 m/s²)である。全体を2乗して、 $T^2 = k_1 l$ (k_1 :定数)という式になる。周

期の逆数が振動数 f であるので, $f = 1/T$ を用いると,

$$f^2 l = (\text{定数}) = f_1^2 l_1 = f_2^2 l_2 = \dots \quad (3)$$

となる. 添え字は 1 番目, 2 番目のひもを考えたときも同様に成り立つことを明示したものである.

- 間は, 天秤ばかり (衡器) において, 支点からの距離 L_1, L_2 とそこに吊り下げられるおもり M_1, M_2 の間にはモーメントの式

$$M_1 L_1 = M_2 L_2 = (\text{定数}) \quad (4)$$

が成り立つことに思い至る. おもりの大きさを正方形 (一辺の長さをそれぞれ x_1, x_2) としてその面積で測るとすれば,

$$x_1^2 L_1 = x_2^2 L_2 = (\text{定数}) \quad (5)$$

が成り立つ.

- 麻田の見つけた五星距地之奇法は,

$$\text{「周期, 自乗之, 立方開之, 得半径」} \quad (6)$$

すなわち, 惑星の公転半径を R , 公転周期を T として

$$R = \sqrt[3]{T^2}, \text{ あるいは } R^3 = T^2 \quad (7)$$

という法則である. ケプラーの第 3 法則の形で書けば, $T^2 = k_1 R^3$ (k_1 : 定数) という式である. ここで, 惑星が一定速度で公転していると考えて角速度を ω とすれば, $T = 2\pi/\omega$ より,

$$\omega^2 R^3 = (\text{定数}) = \omega_1^2 R_1^3 = \omega_2^2 R_2^3 = \dots \quad (8)$$

と書ける. 添え字は 1 番目, 2 番目の惑星の意味である.

この前二者の事例から麻田は合点したそうだが, 物理的にはどう考えてもつながらない. 式 (3) と式 (5), 式 (8) は全く異なる式だが, 2 つの数を乗じたものが一定値になる関係は共通している. そこで, 「式の形からもっともな関係だ, と合点した」と解釈するのはどうだろうか. そうすれば, 『五星距地之奇法』に

蓋シ諸曜ノ運行ハ猶球ノ往来ノ如ク地ヲ距ル遠近ハ猶垂尺ノ如シ唯球ト天行ト氣質ノ同シカラサル故ニ其勢ヒ齊シカラサルニ似タリ

とあることにもつながる.

しかし, この議論が「こじつけ」であることは渡辺⁸⁾に同意する. つまり, 麻田の理解は, 式 (8) を得ていたとしても, 数値上の一致を見た以上のものではない.

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 1 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

$$T \sim R^{1.50000} \quad (T^2 \sim R^3) \quad (9)$$

と, ピタリと (あまりにもピタリと) 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

$$T \sim R^{1.50369} \quad (10)$$

である. また, 現代の数値を用いると

$$T \sim R^{1.50444} \quad (11)$$

である.

表 1: 『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).

Table 1: Periods T_0 and radius R_0 of each planet's orbit shown in *Harmonice Mundi* by Kepler and those (T_1 and R_1) in *Gosei-Kyochi-no-Kihou* 『五星距地之奇法』 attributed by Asada. (Each column is using different unit, but compare the significant digits.)

	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

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 (9) を用いて, 半径 R_1 を計算したものと考えられる. (ケプラーは, 公転半径をティコのデータから幾何学的に導いた上で, 式 (10) 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¹⁰⁾. 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『曆象考成上下編』)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があれば, 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

なると「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 結語

麻田剛立がケプラーの第3法則に相当する関係を独自に見つけたのか, あるいは何らかの形で蘭学書かその翻訳原稿に接してケプラーの法則もどきを見聞してそれを元に関係式を導いたのかは不明である. しかし, 物理的な理解に至らなかったことは確かだ(その点ではケプラーと同じかもしれない). また, 仮に法則を独自に発見していたとしても, 元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も新たに指摘した. これらの点は当時の蘭学書, 中国書, そして麻田の観測データ書である『実験録推歩法』⁽⁶⁾所収)の数値やその依存関係を調べれば解決できるものと思わ

れる。

たとえば麻田の五星距地之奇法が独自の発見ではなかったにしろ、間の天行方数諸曜帰一之理が的外れであるにしろ、当時の日本人としては仕方のない話であろう。むしろ、科学的な態度が醸成されていく過程が見られることはもっと積極的に評価されるべきと思われる。

謝辞

天文文化研究会を主宰され、発表の機会をくださいました本学工学部・松浦清氏と、漢文・古文の解説にお手伝いいただきました本学情報科学部・横山恵理氏に、感謝申し上げます。また、原稿のフォーマット揃えには、木村瞳さんにお世話になりました。御礼申し上げます。

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・薮内清監訳『中国の科学と文明 (5) 天の科学』(思索社, 1991)
- 5) 有坂隆道「山片播桃の大宇宙論について」(『日本洋学史研究 IV』(創元社学術双書, 1982) 所収)
- 6) 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)
- 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) 渡辺敏夫『近世日本科学史と麻田剛立』(雄山閣出版, 1983)
- 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) 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
- 11) 藤沢知子, 黒星瑩一, 東京女子大学紀要 30-3 (1980), 584
- 12) 鹿毛敏夫『月のえくぼを見た男 麻田剛立』(くもん出版, 2008)(鹿毛敏夫『月に名前を残した男 江戸の天文学者 麻田剛立』(角川文庫, 2012) として入手可能).
- 13) 中村士監修『江戸の天文学』(角川学芸出版, 2012)
- 14) 中村士『東洋天文学史』(丸善 (サイエンス・パレット) 新書, 2014)
- 15) 荒川 紘『日本人の宇宙観 飛鳥から現代まで』(紀伊國屋書店, 2001)
- 16) 嘉数次人『天文学者たちの江戸時代: 暦・宇宙観の大転換』(ちくま新書, 2016)